

Einführung in die Astronomie und Astrophysik, Teil I

Kapitel 10

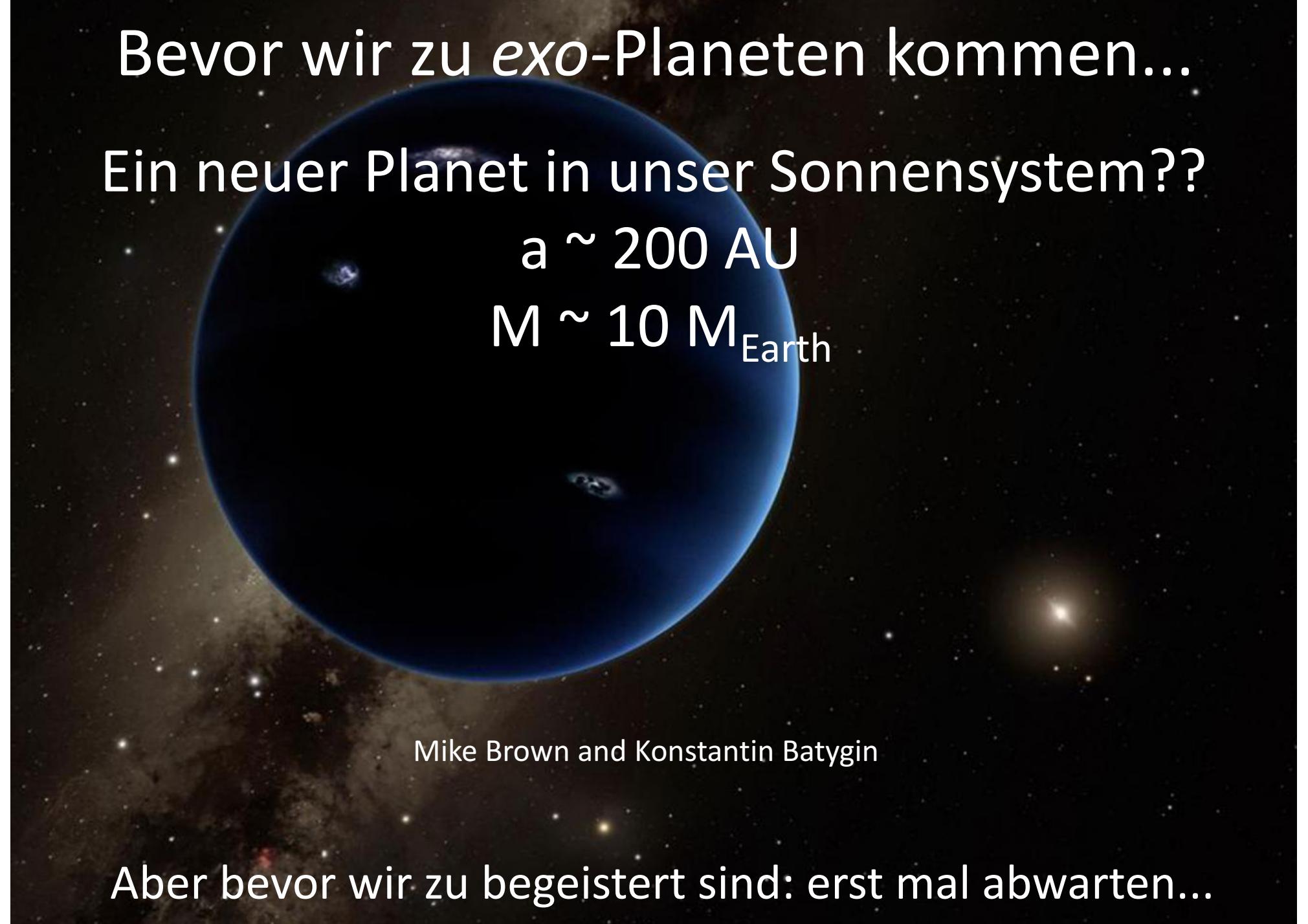
Exoplaneten

Cornelis Dullemond

Giordano Bruno (1548-1600)

„Es gibt unzählige Sonnen, und unzählige Erden die alle um ihre Sonne drehen. ... Wir sehen nur die Sonnen, weil sie die größte Körper sind und leuchten. Ihre Planeten sehen wir nicht, weil sie klein sind und nicht leuchten. ... Es ist absurd, davon aus zu gehen, dass diese viele Welten ... nicht genauso bewohnt sind von ähnlichen, oder sogar perfekteren Kreaturen wie die auf der Erde. ... Sei beruhigt: die Zeit wird kommen, wenn alle Menschen es genauso sehen werden wie ich.“





Bevor wir zu exo-Planeten kommen...

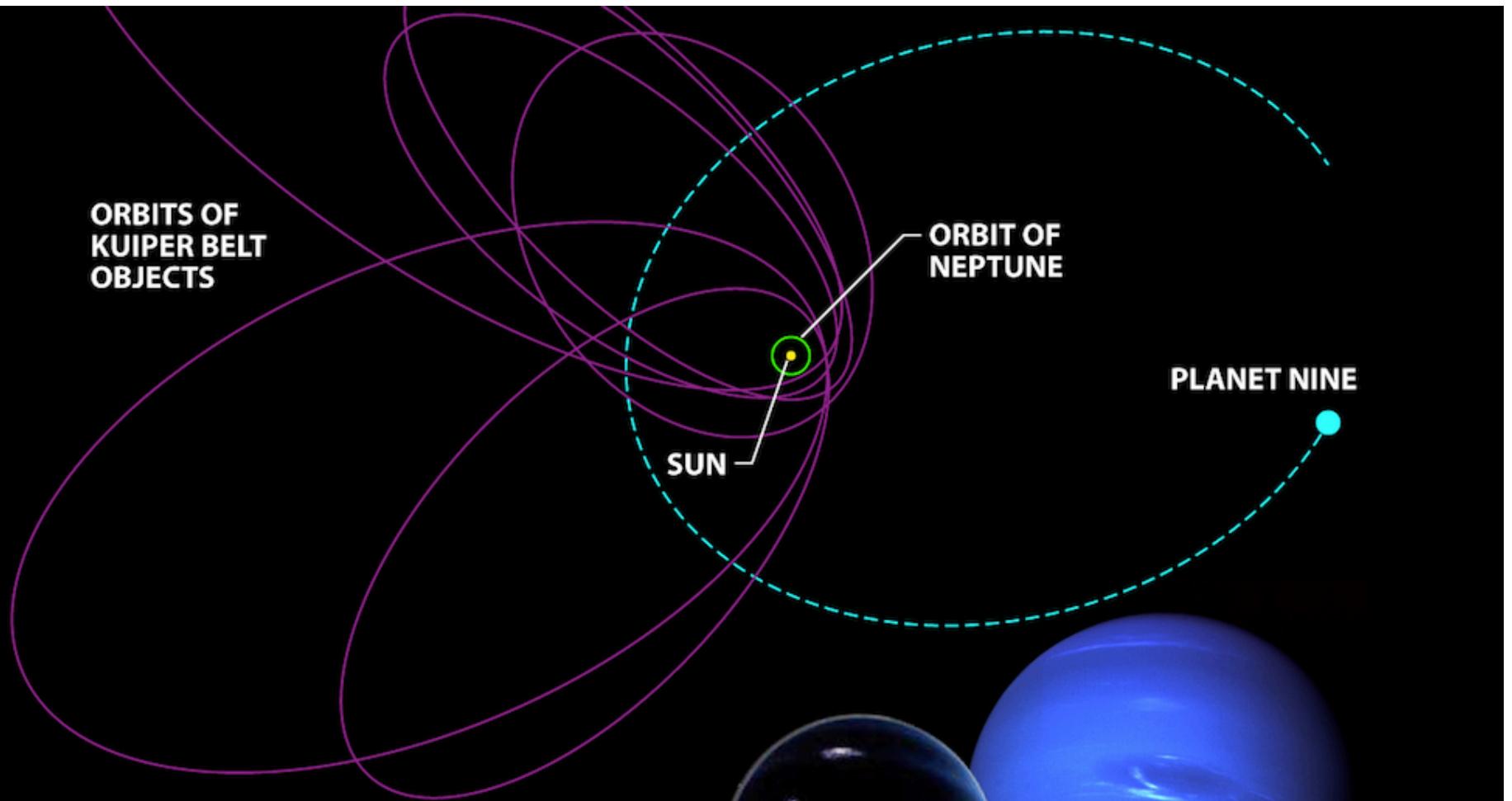
Ein neuer Planet in unser Sonnensystem??

$$a \sim 200 \text{ AU}$$

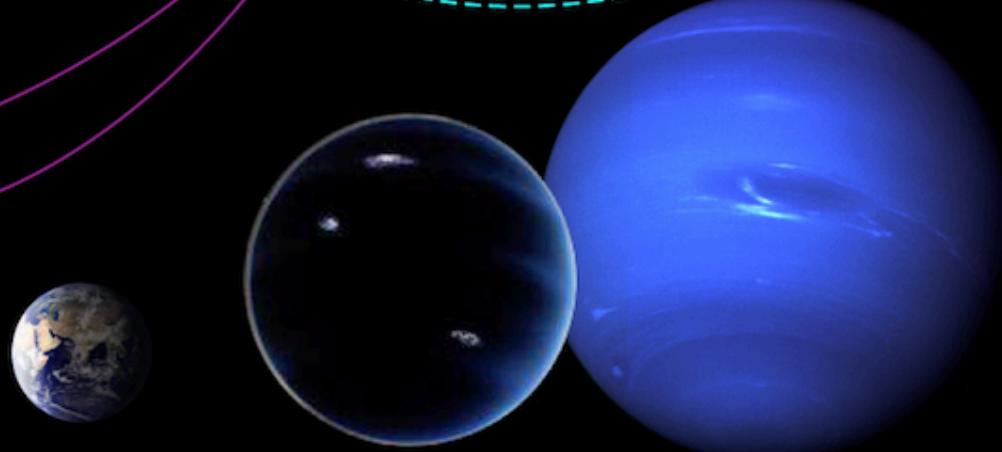
$$M \sim 10 M_{\text{Earth}}$$

Mike Brown and Konstantin Batygin

Aber bevor wir zu begeistert sind: erst mal abwarten...



Planet Nine would be about the same size as the most commonly found exoplanets orbiting other stars.



	Earth	Planet Nine	Neptune
MASS (EARTH = 1)	1	10	17
LENGTH OF YEAR (EARTH YEARS)	1	between 10,000 and 20,000	164.8

Exoplaneten

2950 Bestätigte Exoplaneten

<http://exoplanets.org>
Stand: 26 Januar 2017

Abstände...

- Machen wir einen Vergleich: Abstand Erde-Sonne nehmen wir 1 cm...
 - Mars = 1.5 cm weit
 - Jupiter = 5.2 cm weit
 - Nächste Stern (Proxima Centauri) = 2.5 km weit
 - Sterne mit bekannten Planeten ~ 50...200 km weit
- Diese extreme Abstände zu unsere Nachbarsterne machen es äusserst schwierig, Planeten um diese Sterne zu detektieren...



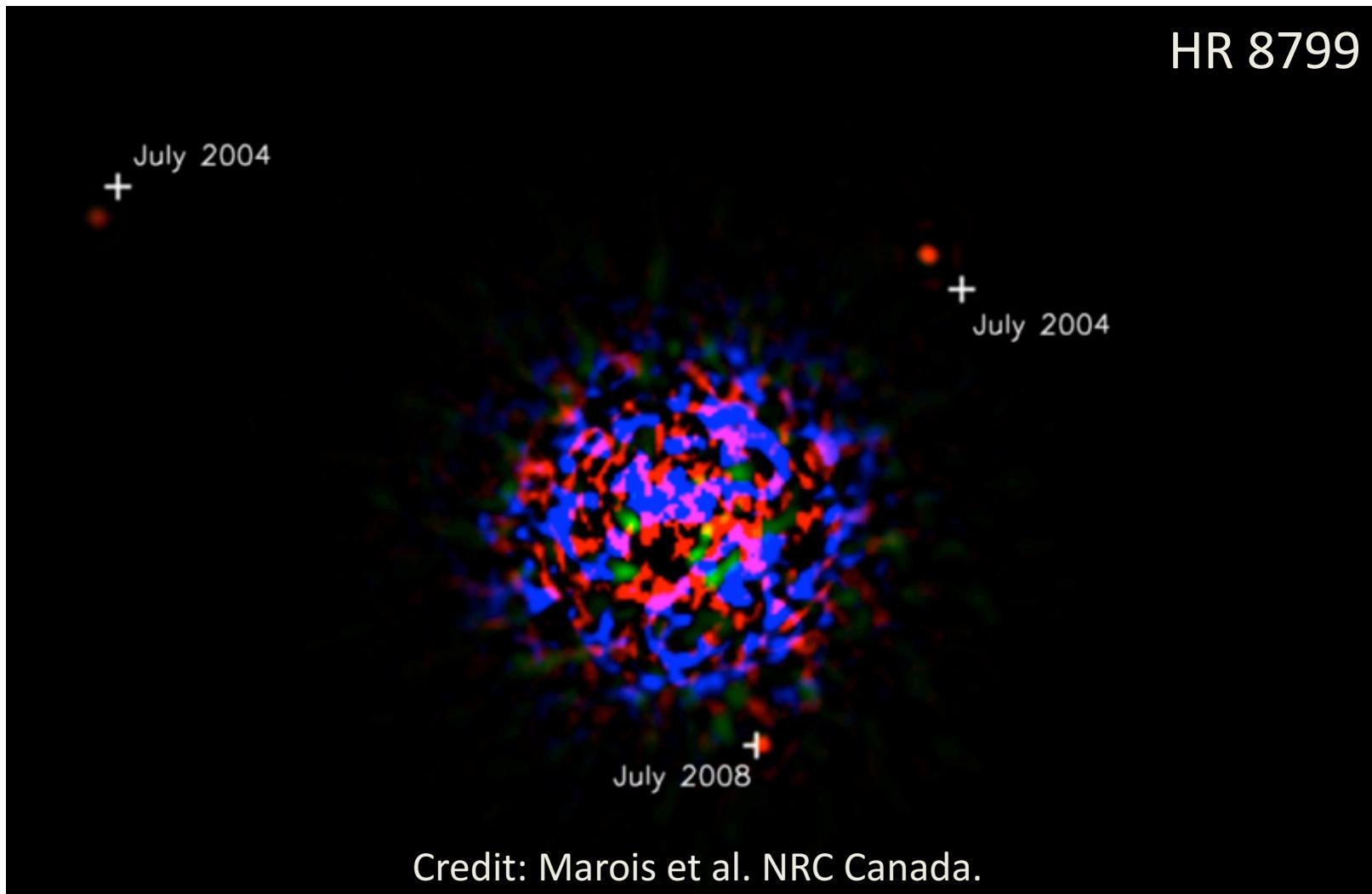
from Navigator Program Public Engagement Team, NASA, <http://planetquest.jpl.nasa.gov>



Jetzt aber beobachtet von 10.000 km Distanz
(ungefähr Abstand Frankfurt – Los Angeles)

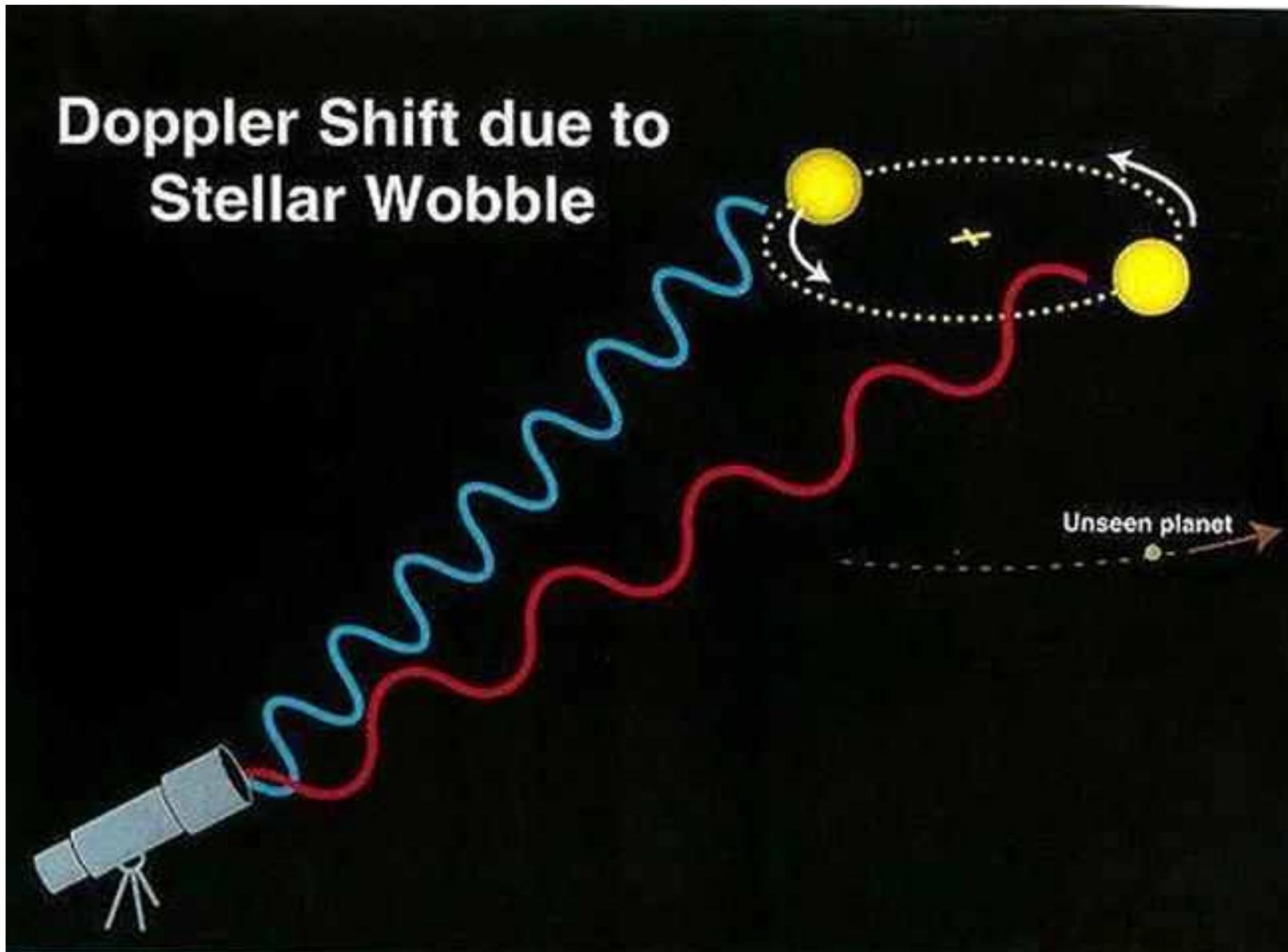
Exoplaneten Entdecken: Methoden

Exoplaneten Detektion: Direkt Abbildung

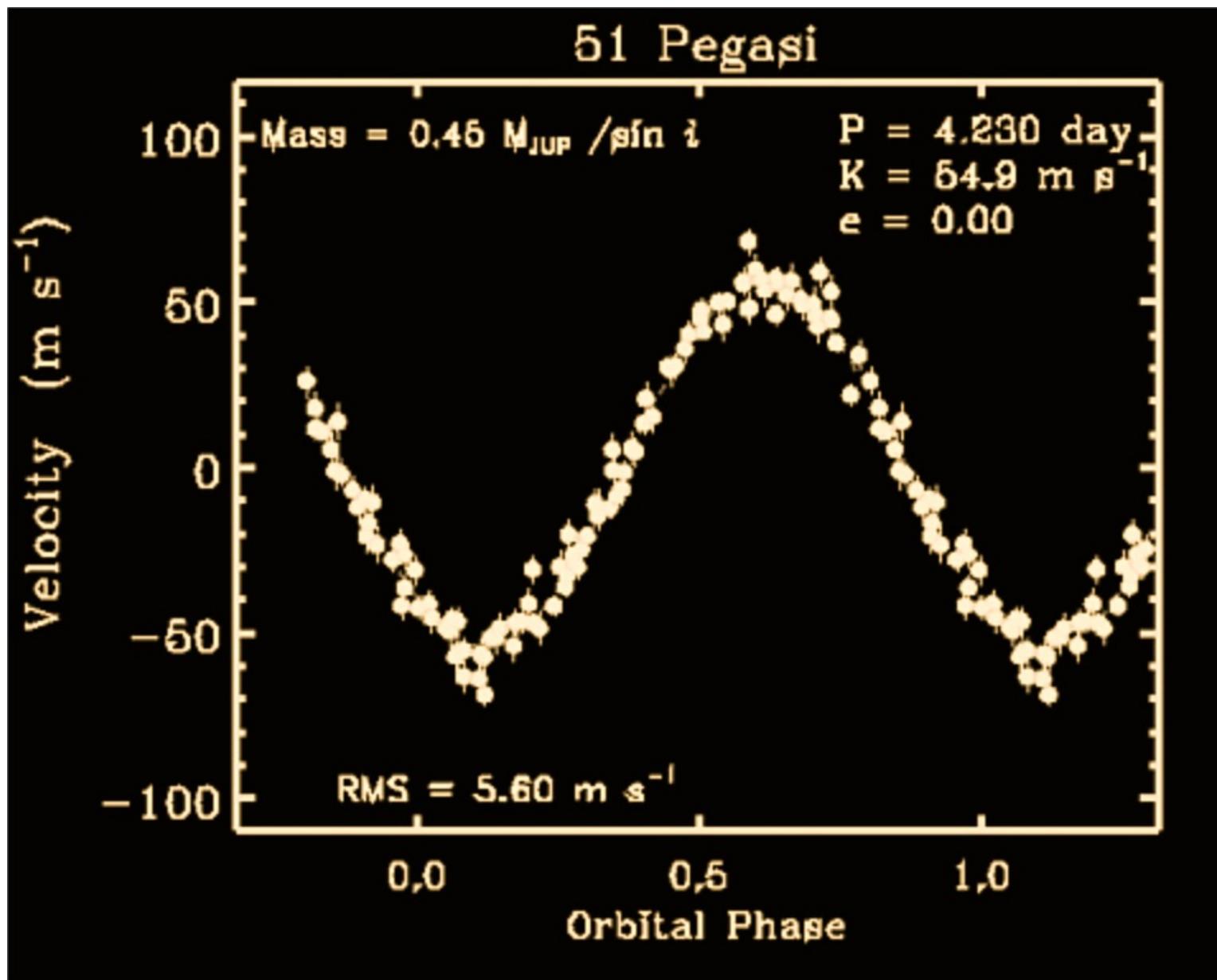


Nur sehr wenige direkt abgebildete Planeten bekannt. Sehr schwierig den extremen Kontrast zwischen Stern und Planet zu bewältigen.

Exoplaneten Detektion: Radialgeschwindigkeit



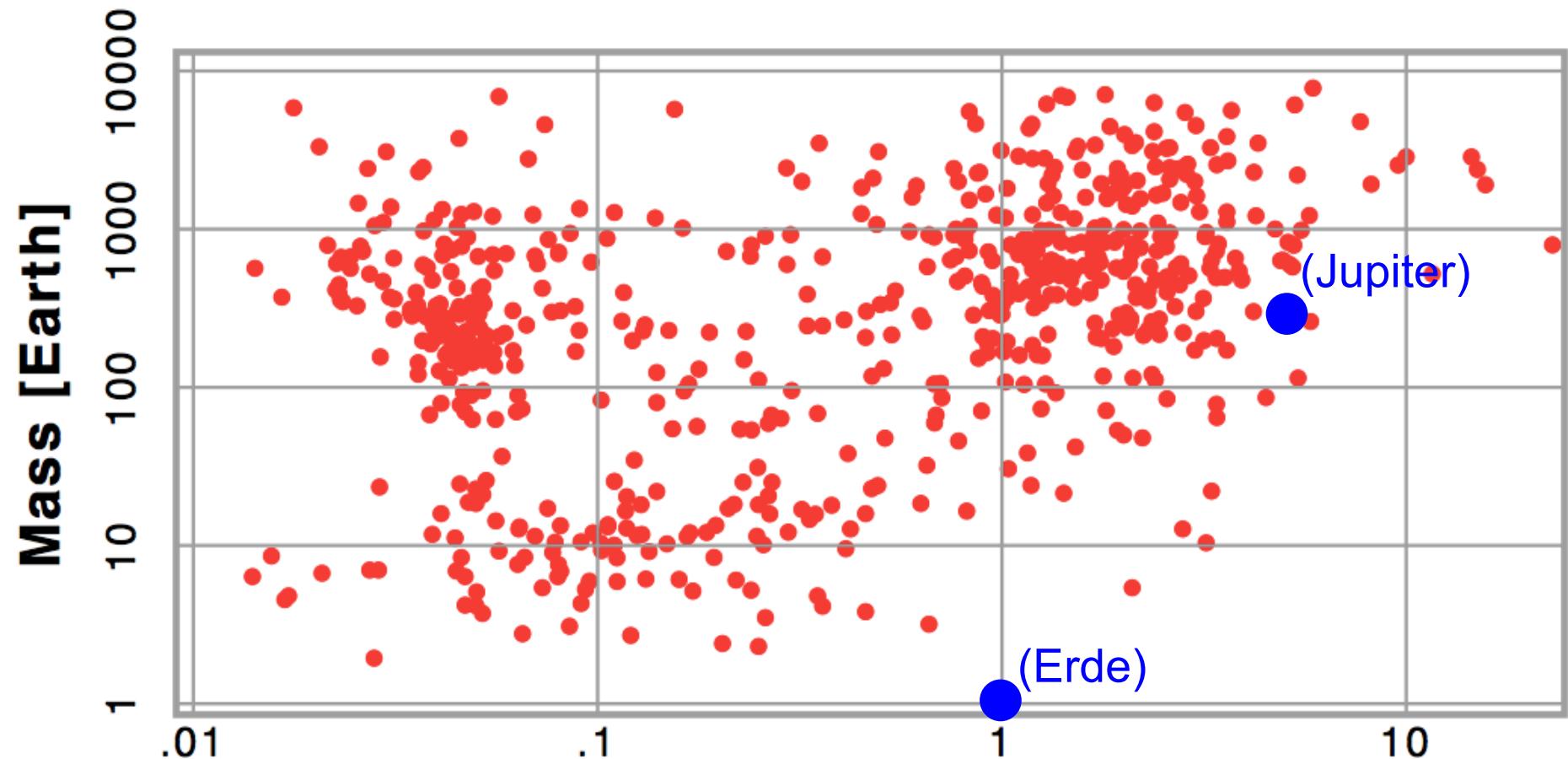
Exoplaneten Detektion: Radialgeschwindigkeit



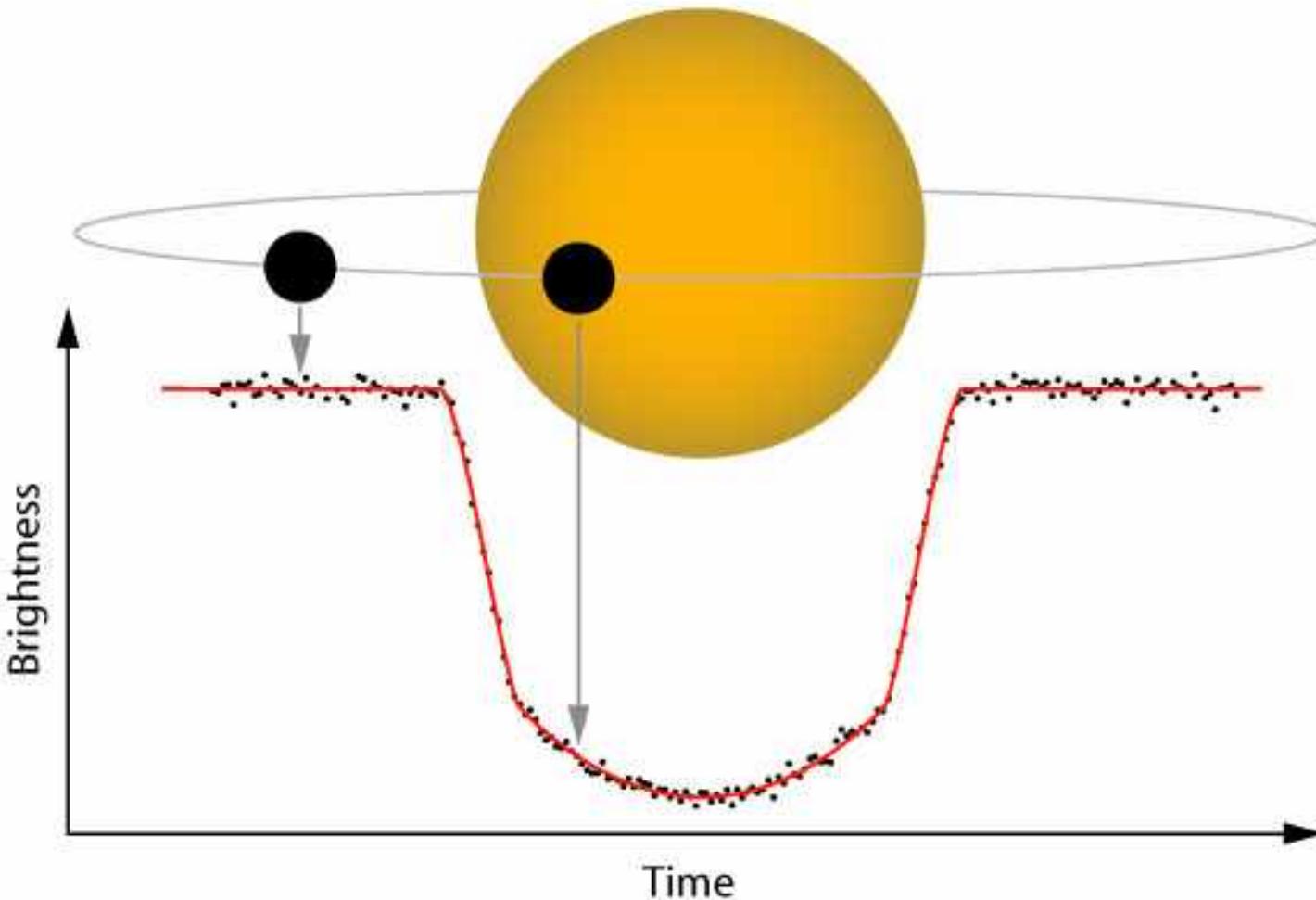
Exoplaneten Detektion: Radialgeschwindigkeit

- Erste entdeckte Exoplanet um *sonnenähnlichen* Stern: 51 Peg, im 1995 von Mayor & Queloz.
 - Name: 51 Peg b
 - Masse: $\geq 0.47 M_{\text{Jupiter}}$
 - Semimajor axis: $a = 0.053 \text{ AU} = 11 R_* = 4.2 \text{ Tag}$
- Unerwartet:
 - Im Sonnensystem: Jupiter $a = 5 \text{ AU}$, Planeten nicht so nah am Stern, und innerhalb von Jupiter gibt es Steinplaneten.
 - Wie kann ein so massenreicher Planet so nah am Stern entstehen?

Exoplanet-Statistiken



Exoplaneten Detektion: Transits



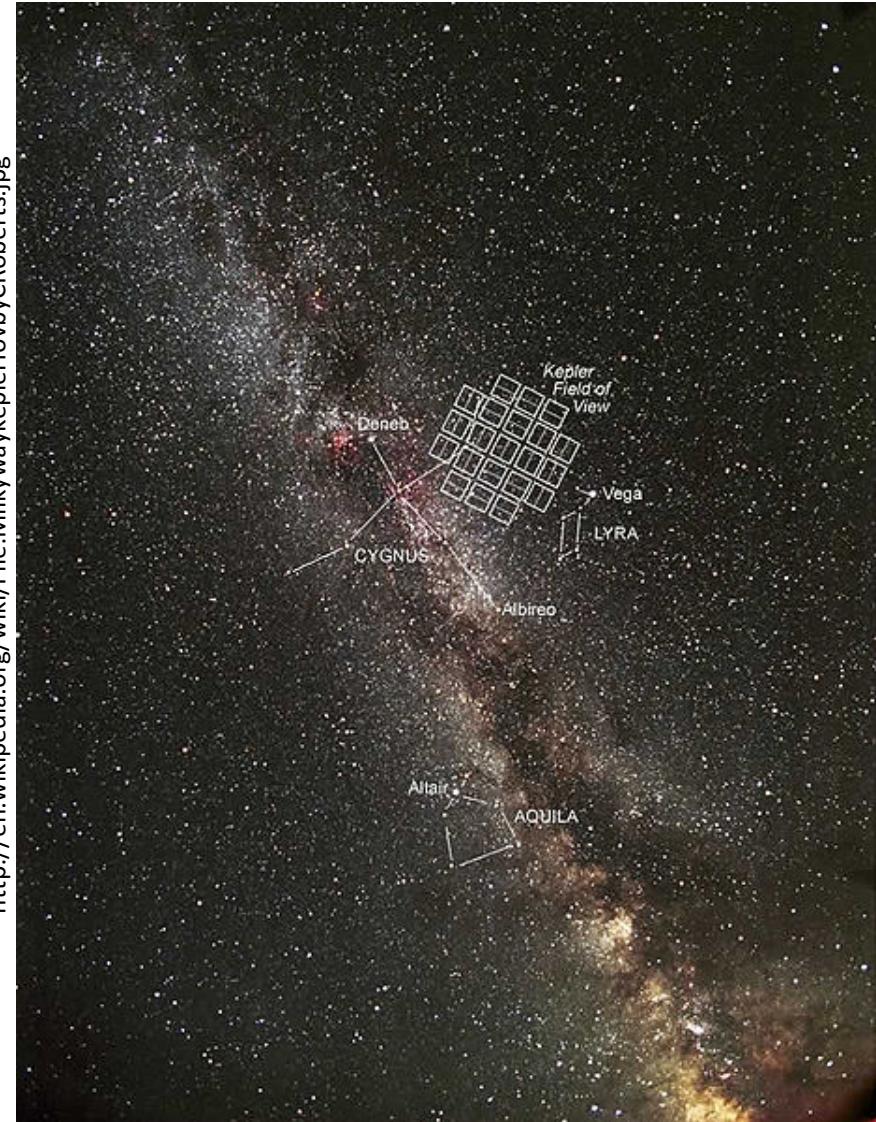
Mit den Kepler Satelliten wurden etwa 2500 Exoplaneten(-Kandidaten) entdeckt (Stand Januar 2013, and counting...).

Kepler Teleskop

<http://spacechronology.com/keplerbig.jpg>

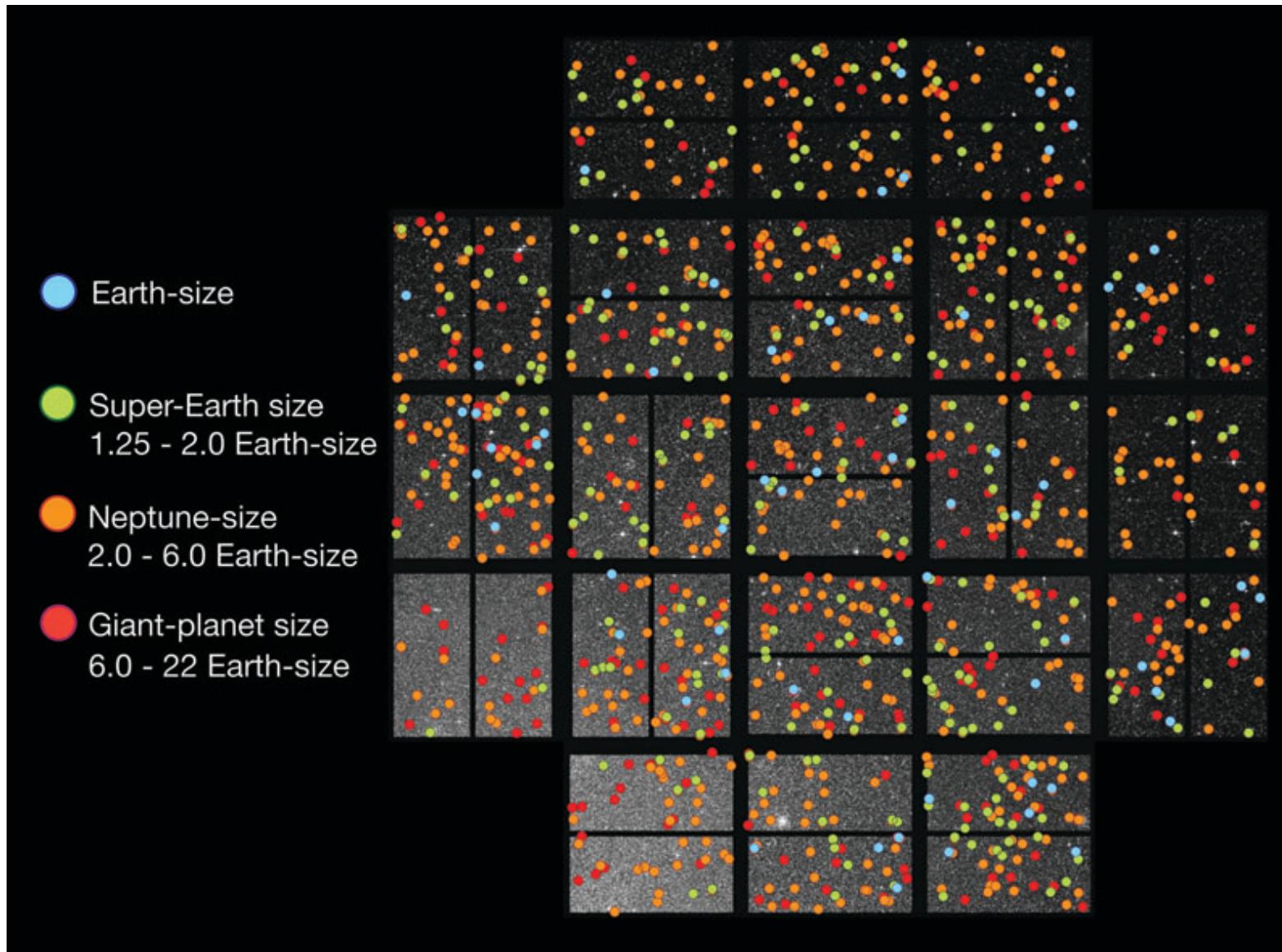


<http://en.wikipedia.org/wiki/File:MilkywaykeplerofovbyCRoberts.jpg>

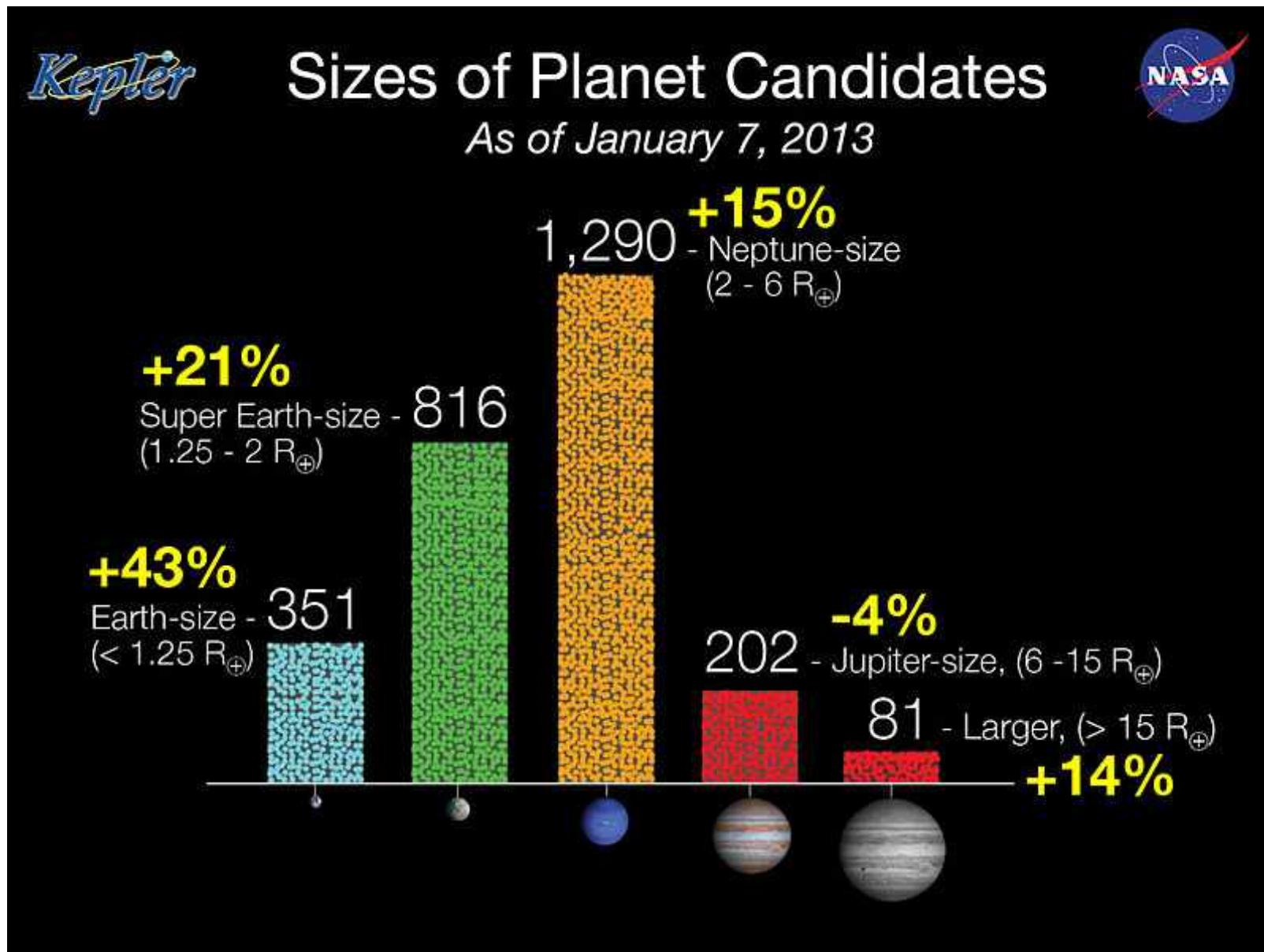


Kepler suchte nach Transits und hat >3000 Exoplanet-Kandidaten gefunden

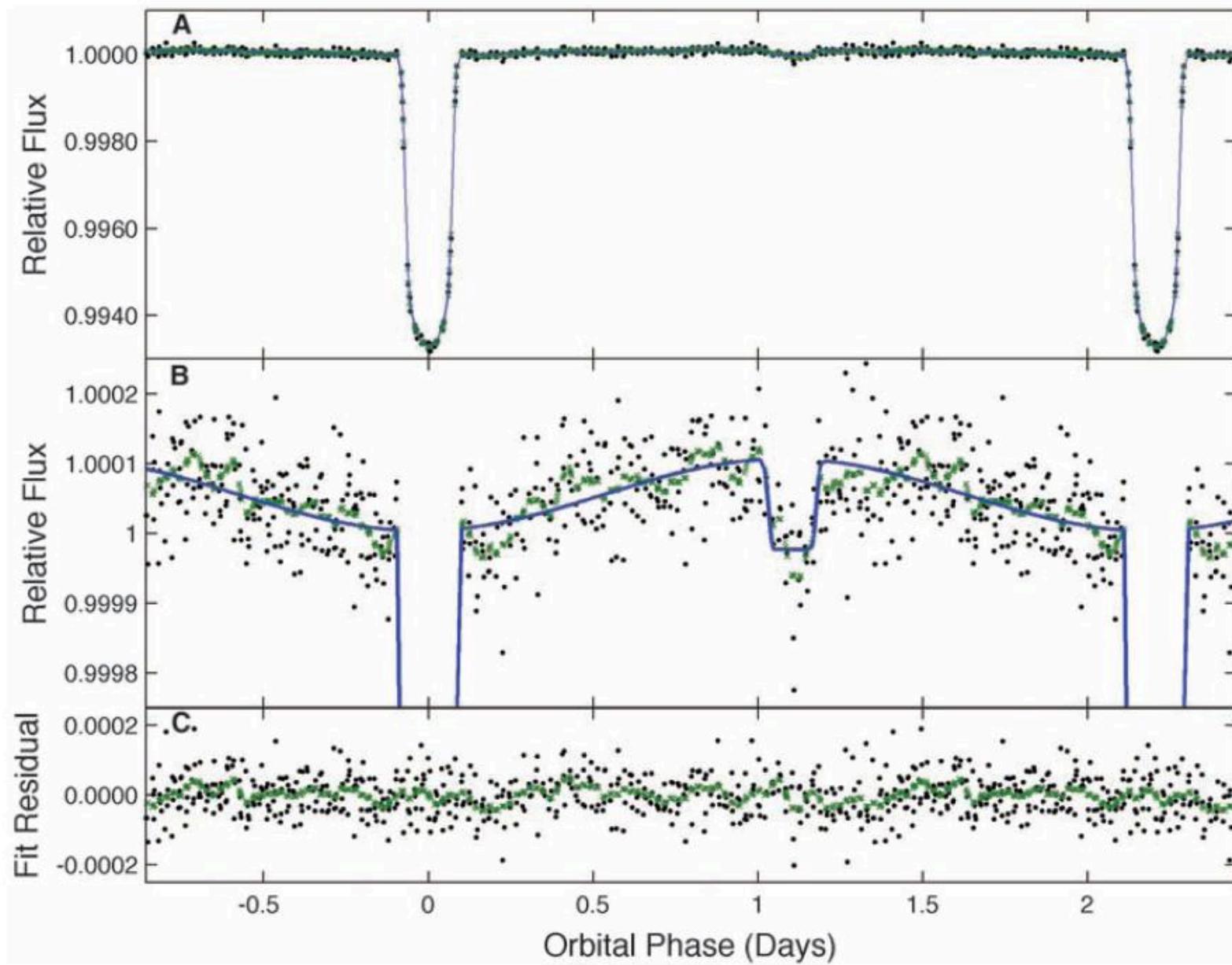
Kepler Teleskop



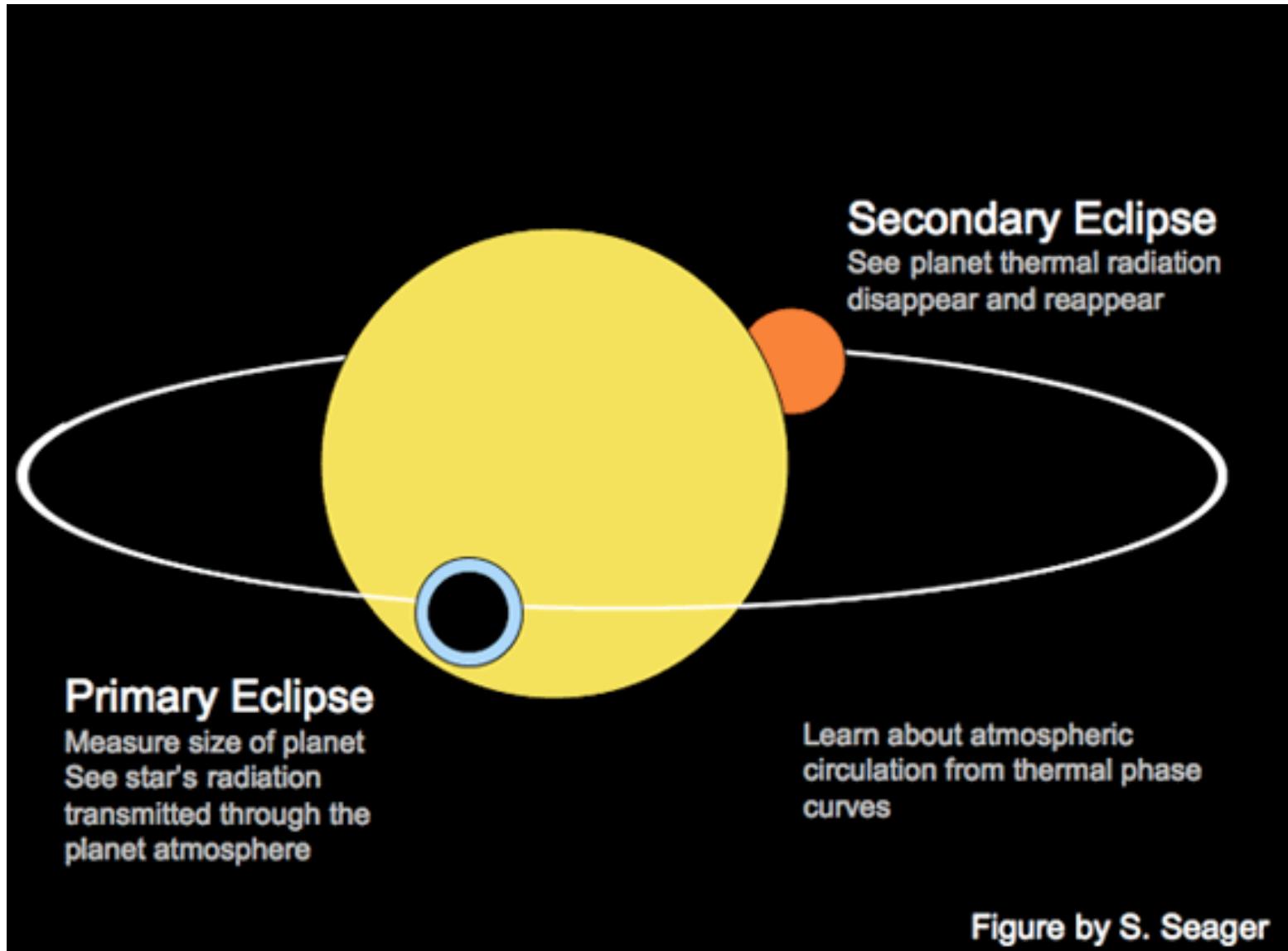
Exoplaneten Detektion: Transits



Transits: primary & secondary

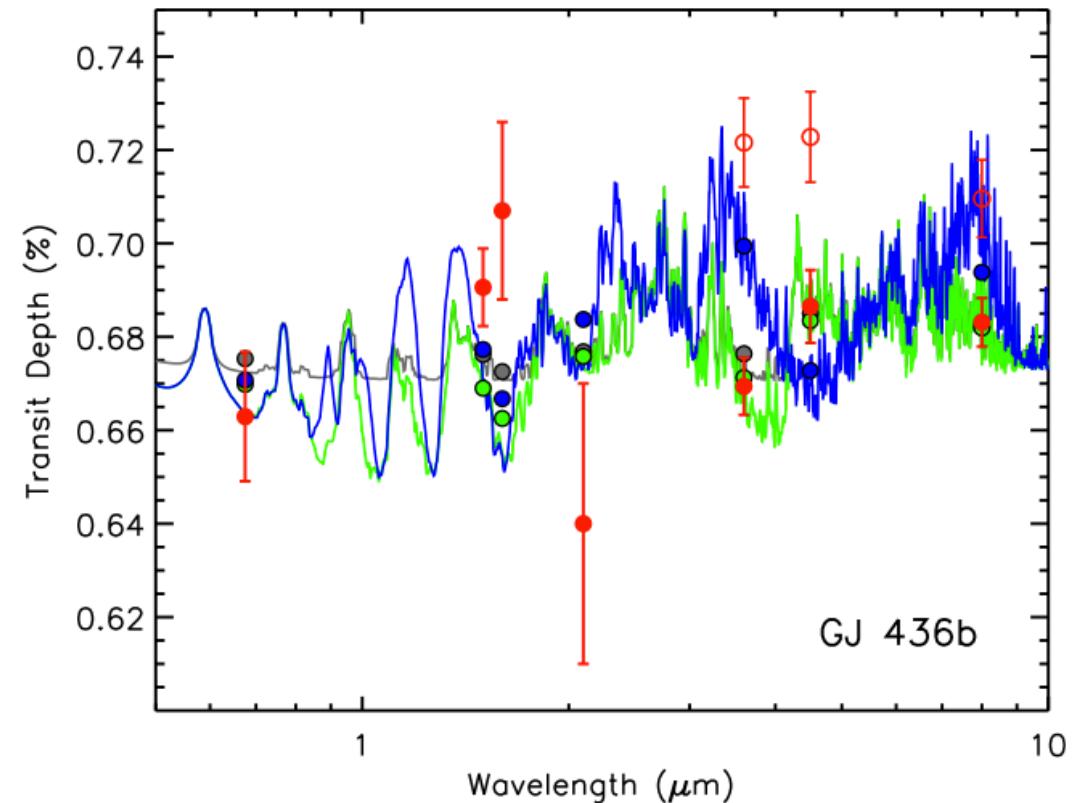
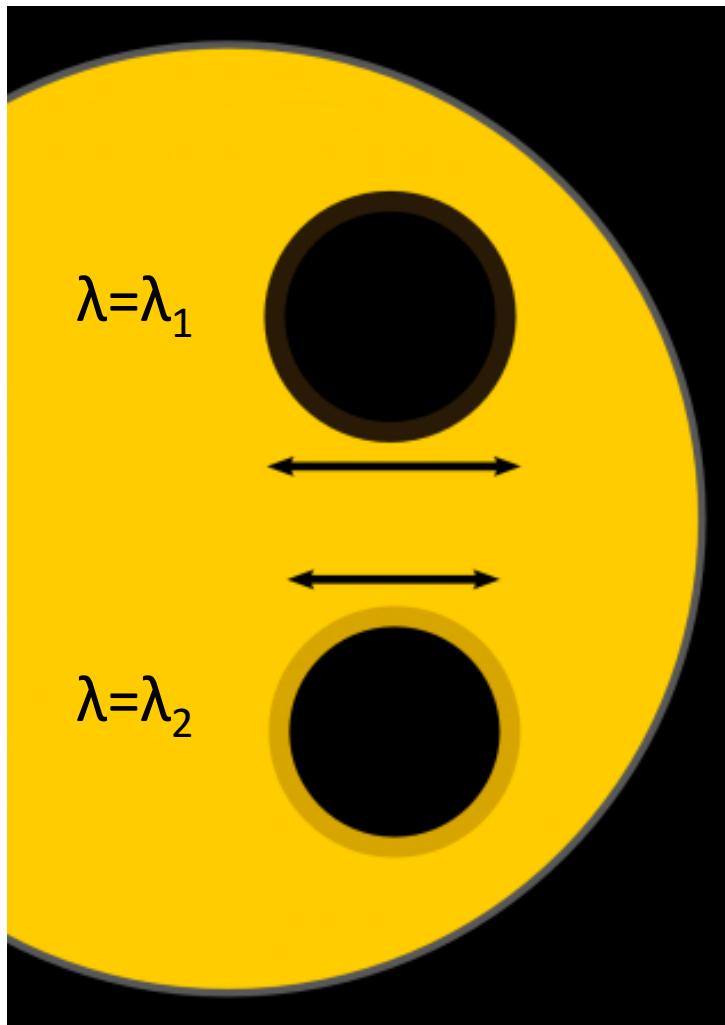


Transits: primary & secondary



Transit Spektroskopie

Analyse der Planetatmosphäre in primary transit

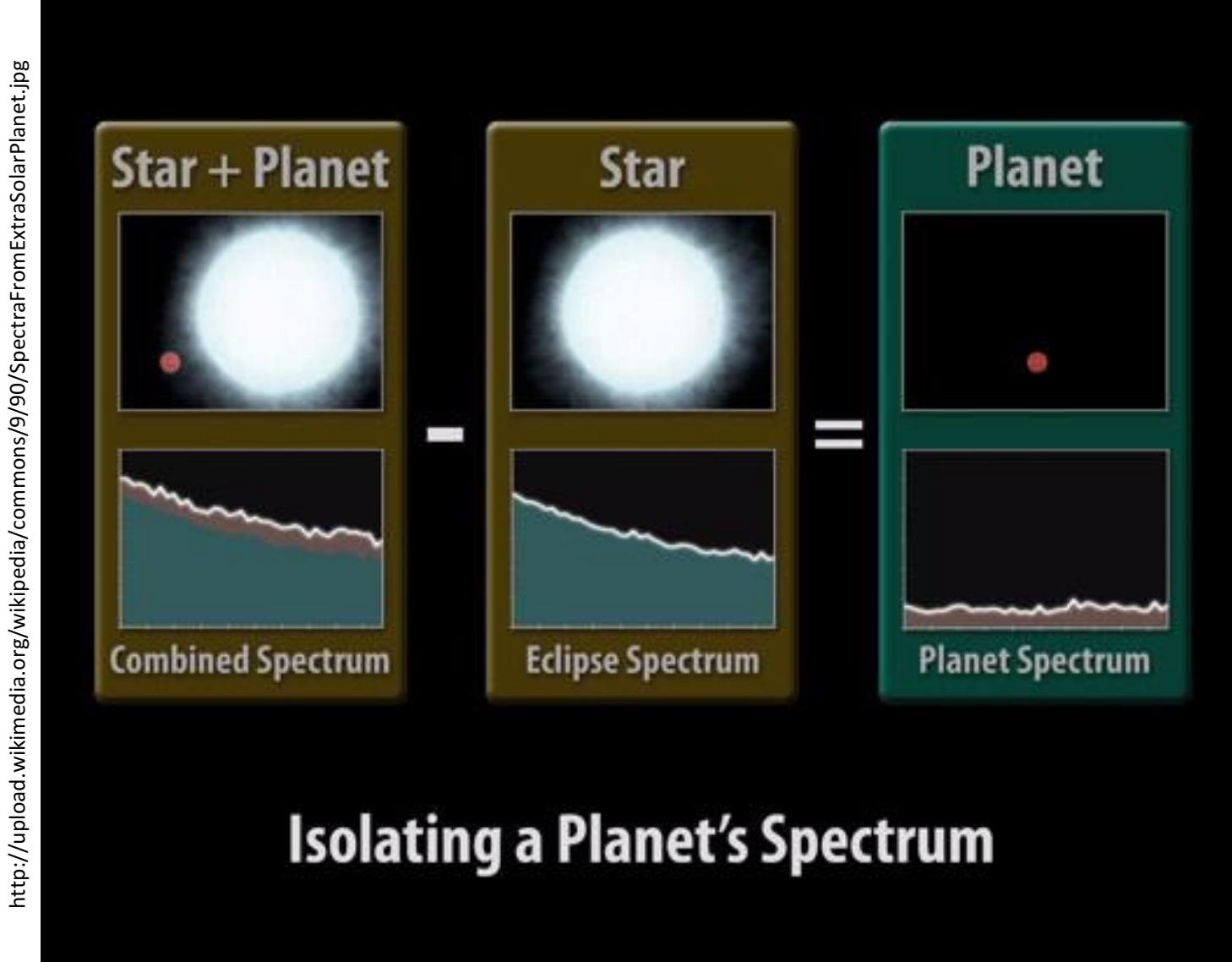


Quelle: <http://www2.physics.ox.ac.uk/blog/astrobog/2012/07/06/exoplanet-gj1214b-what-a-wonderful-world>

Knutson et al. 2011, ApJ 735,
27

Transit Spektroskopie

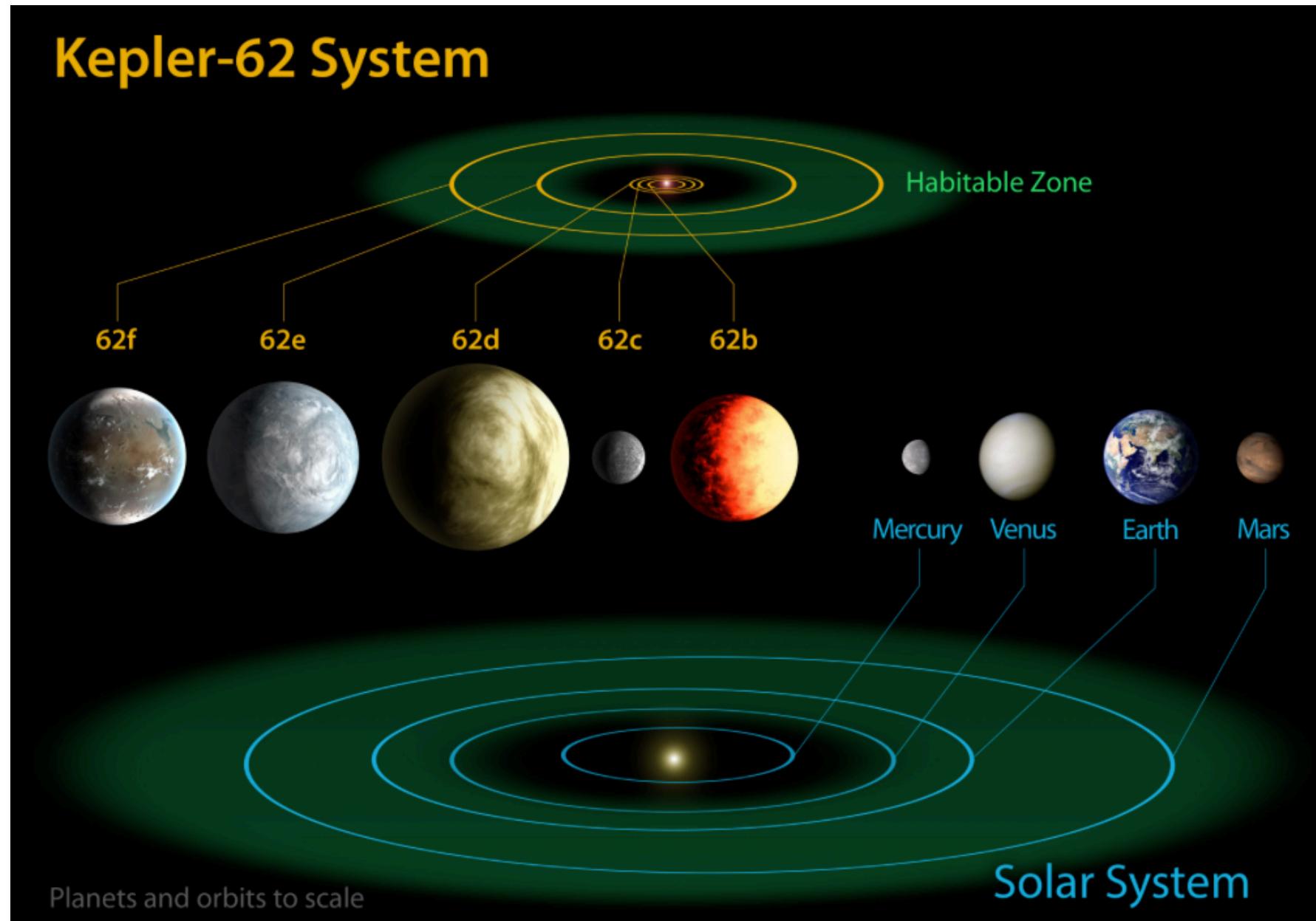
Analyse der Planetatmosphäre in secondary transit



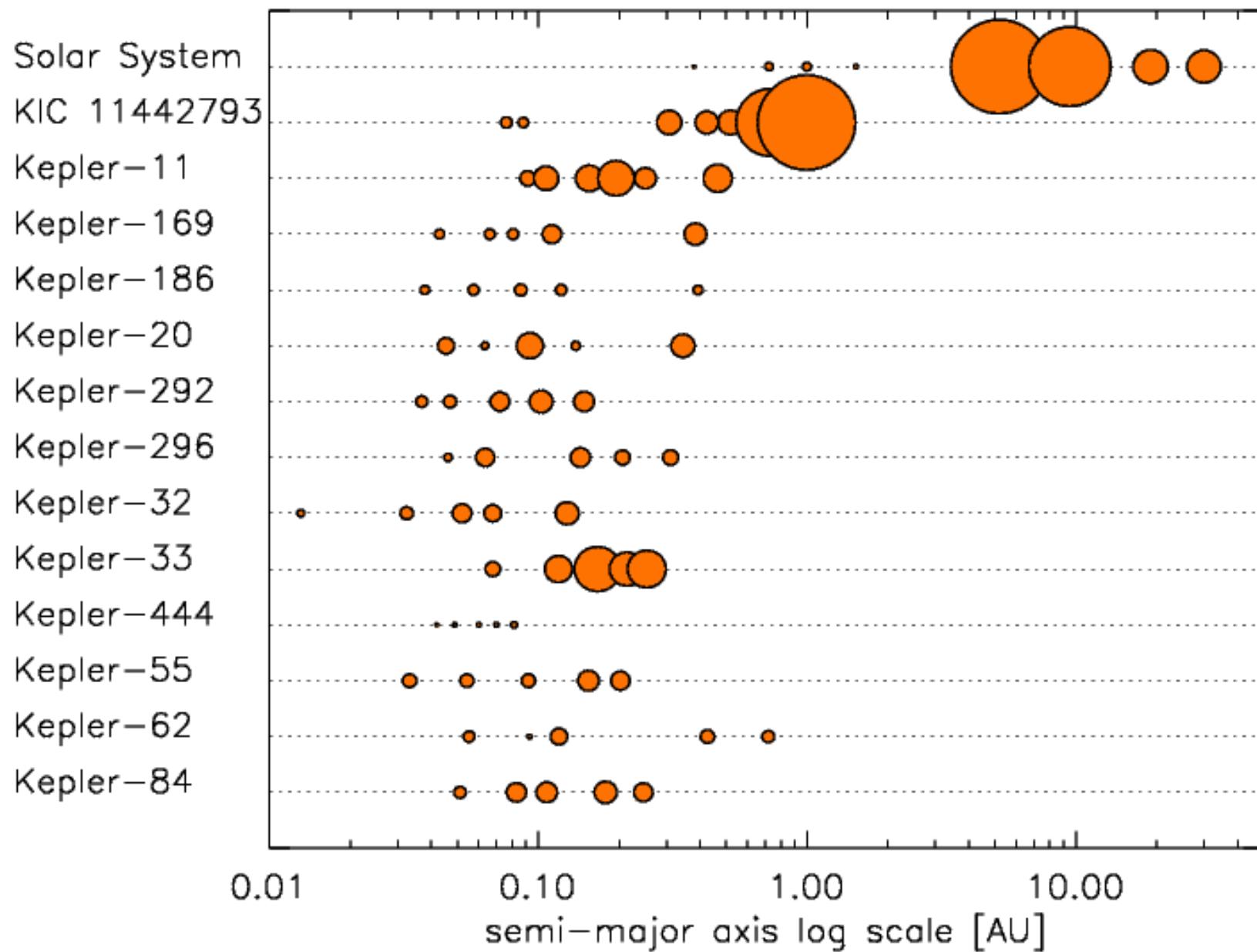
Transit Spektroskopie

- In primary transit:
 - Schwierig, weil Atmosphäre ist sehr dünn
 - Man sieht nur oberste Atmosphären-Schichten, weil Licht einen langen Weg durch die Atmosphäre geht
 - Nicht einfach zu modellieren
 - Vorteil: Geht in optischen Licht
- In secondary transit:
 - Man kann tiefer in die Atmosphäre hinein schauen
 - In optisches Licht: Nur Reflektion von Sternlich durch Wolken
 - In Infrarot Licht: Man sieht thermisches Licht
 - Man kann „Wetter“ sehen: Unterschiede zwischen Ost/West

Überraschung: viele multi-Planet Systeme



Überraschung: viele multi-Planet Systeme

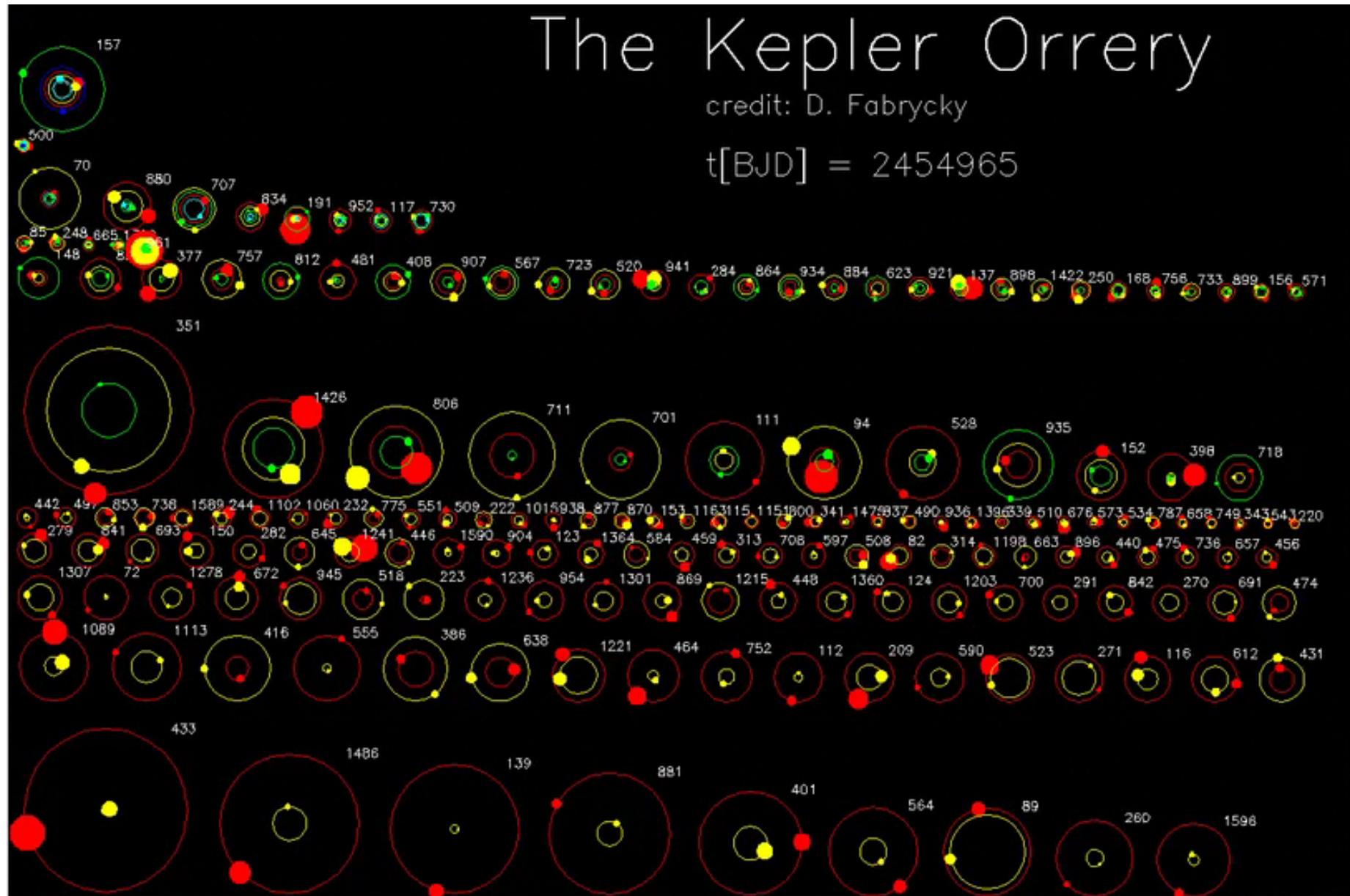


Das Kepler Raumteleskop

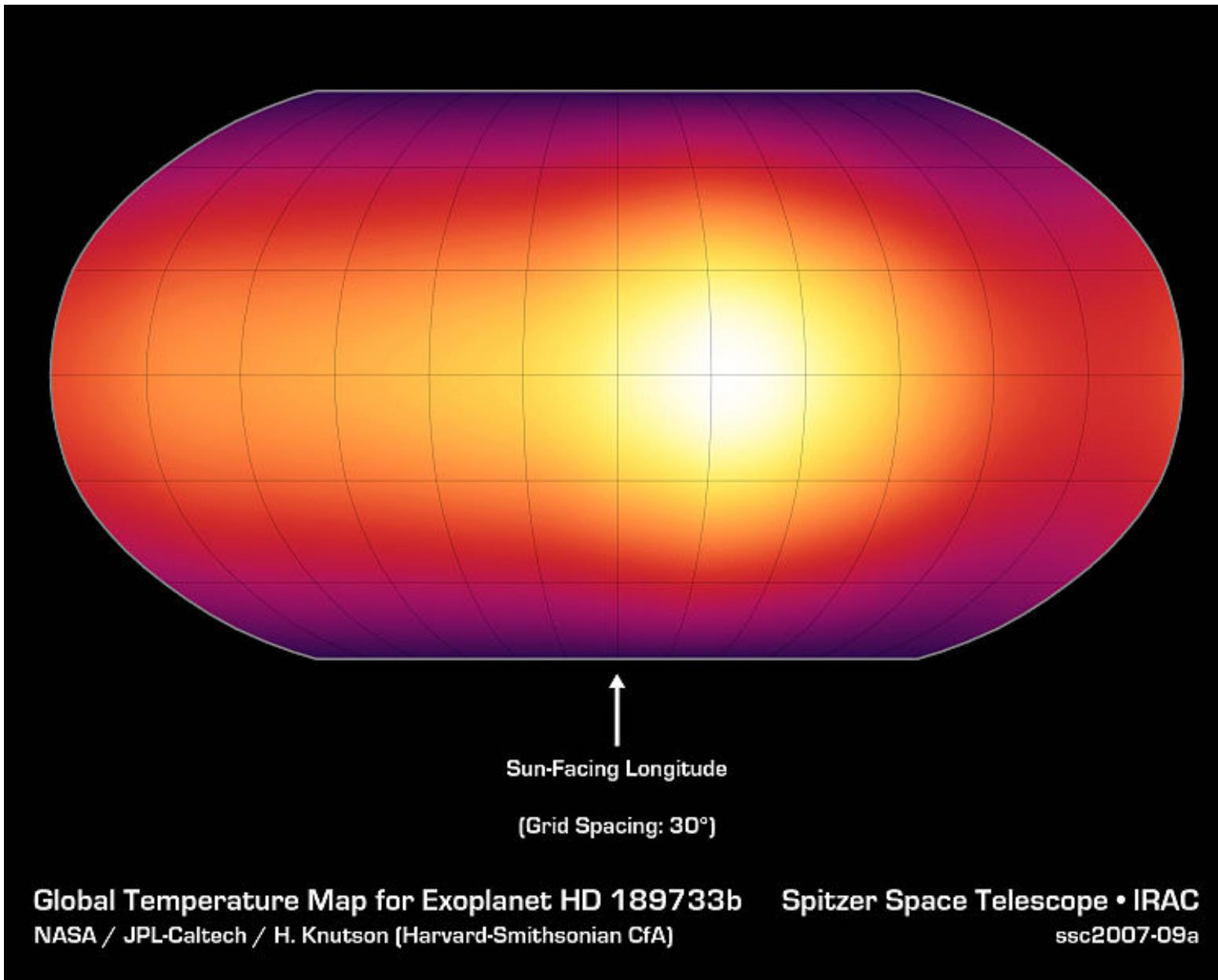
The Kepler Orrery

credit: D. Fabrycky

$t[\text{BJD}] = 2454965$

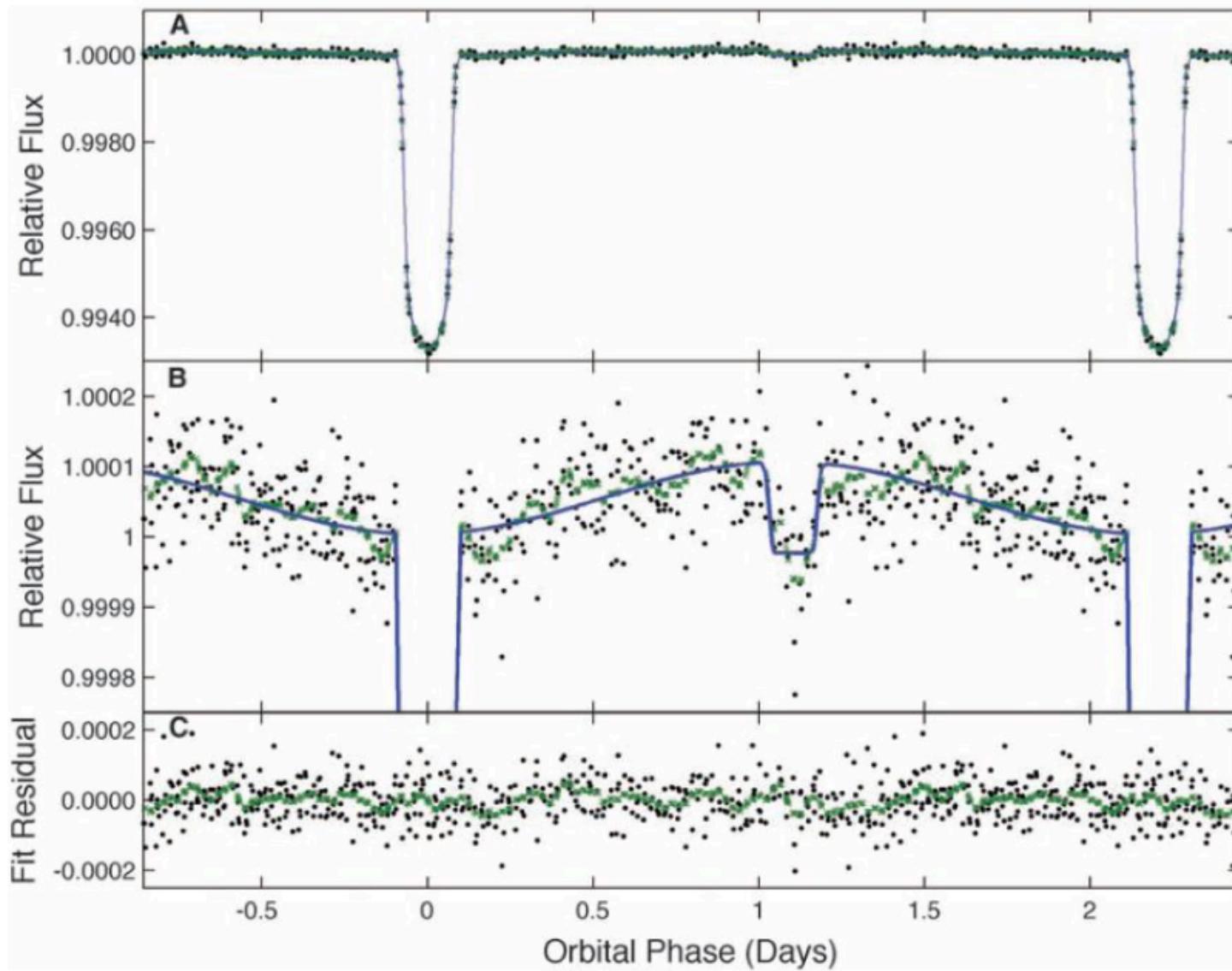


Starke Winde auf HD 189733 b



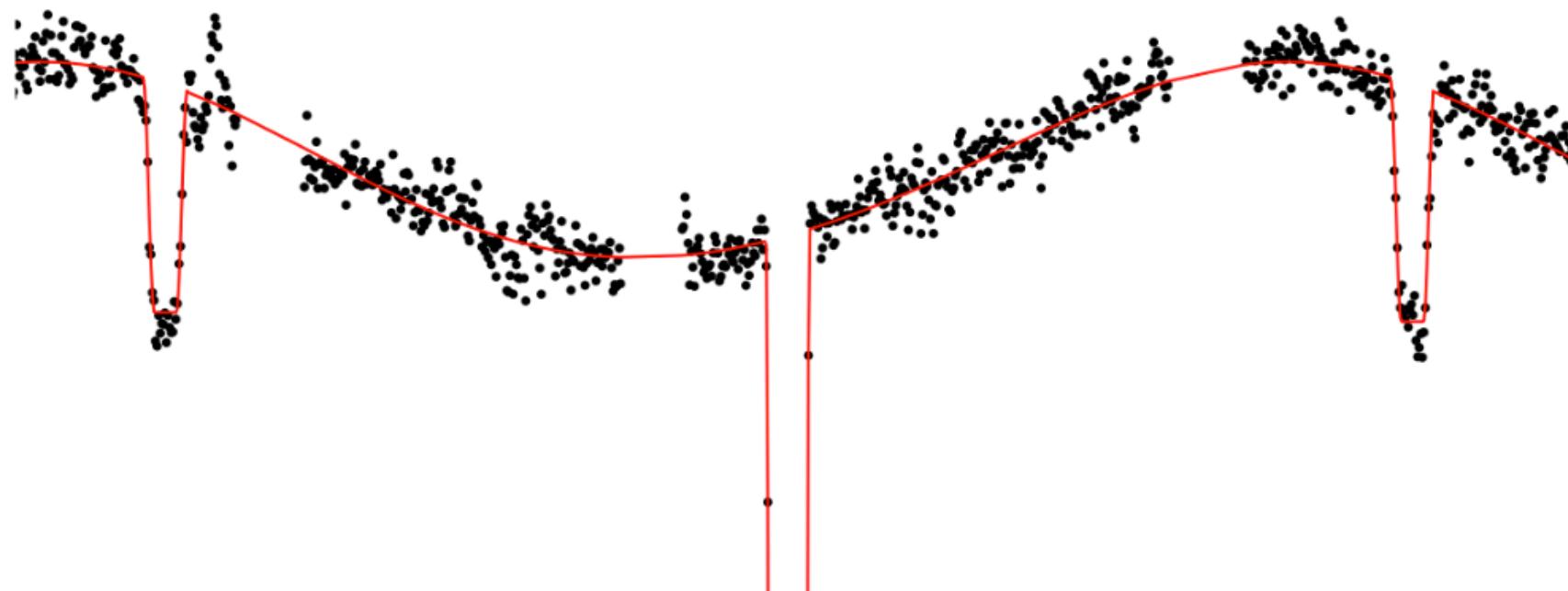
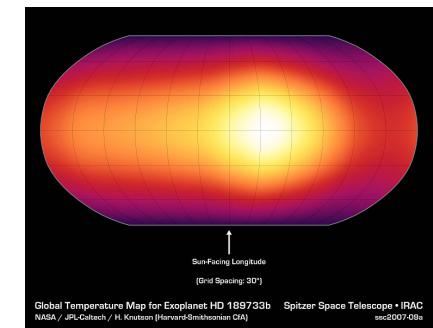
Starke Winde auf HD 189733 b

Normale Lichtkurve

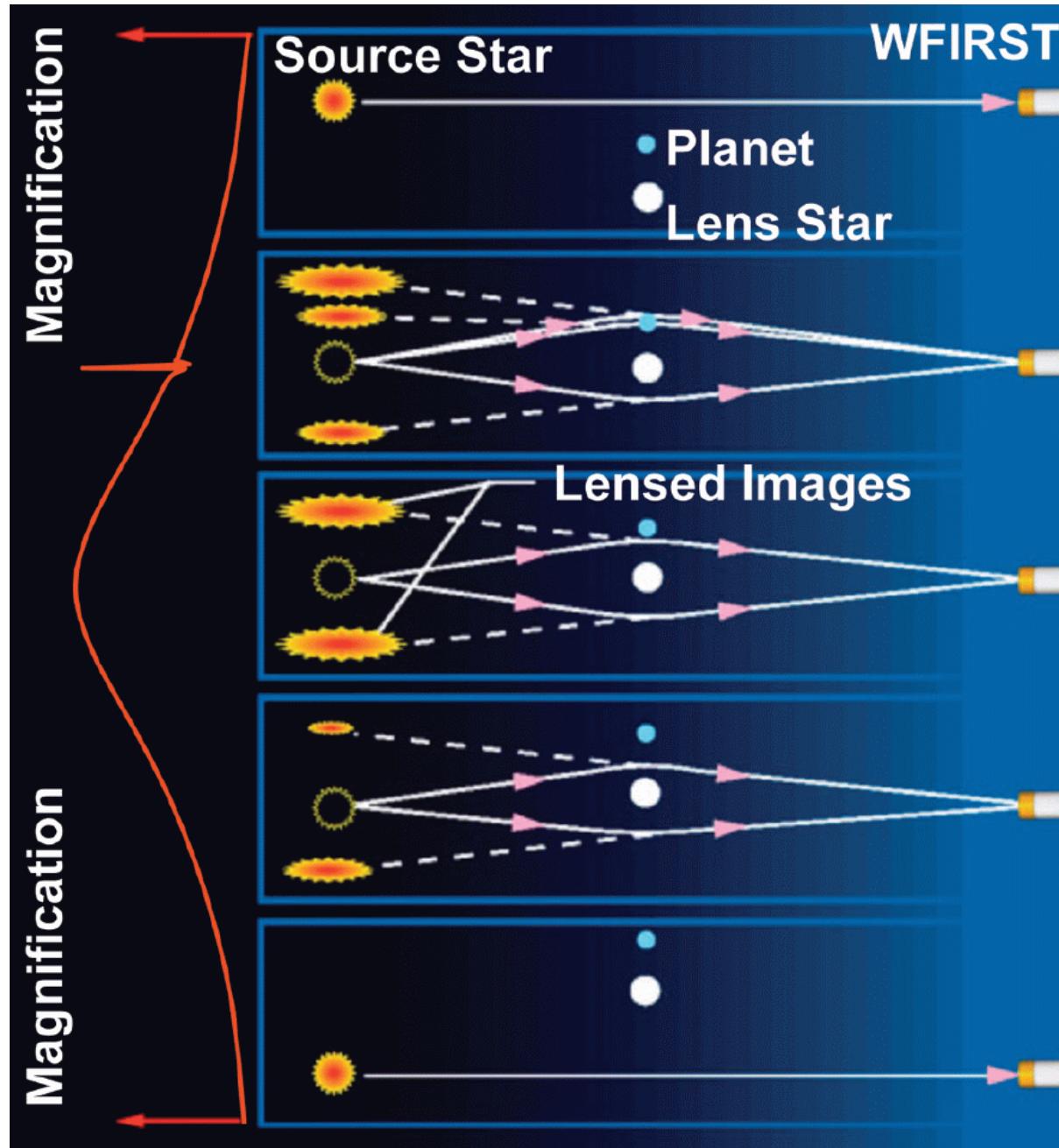


Starke Winde auf HD 189733 b

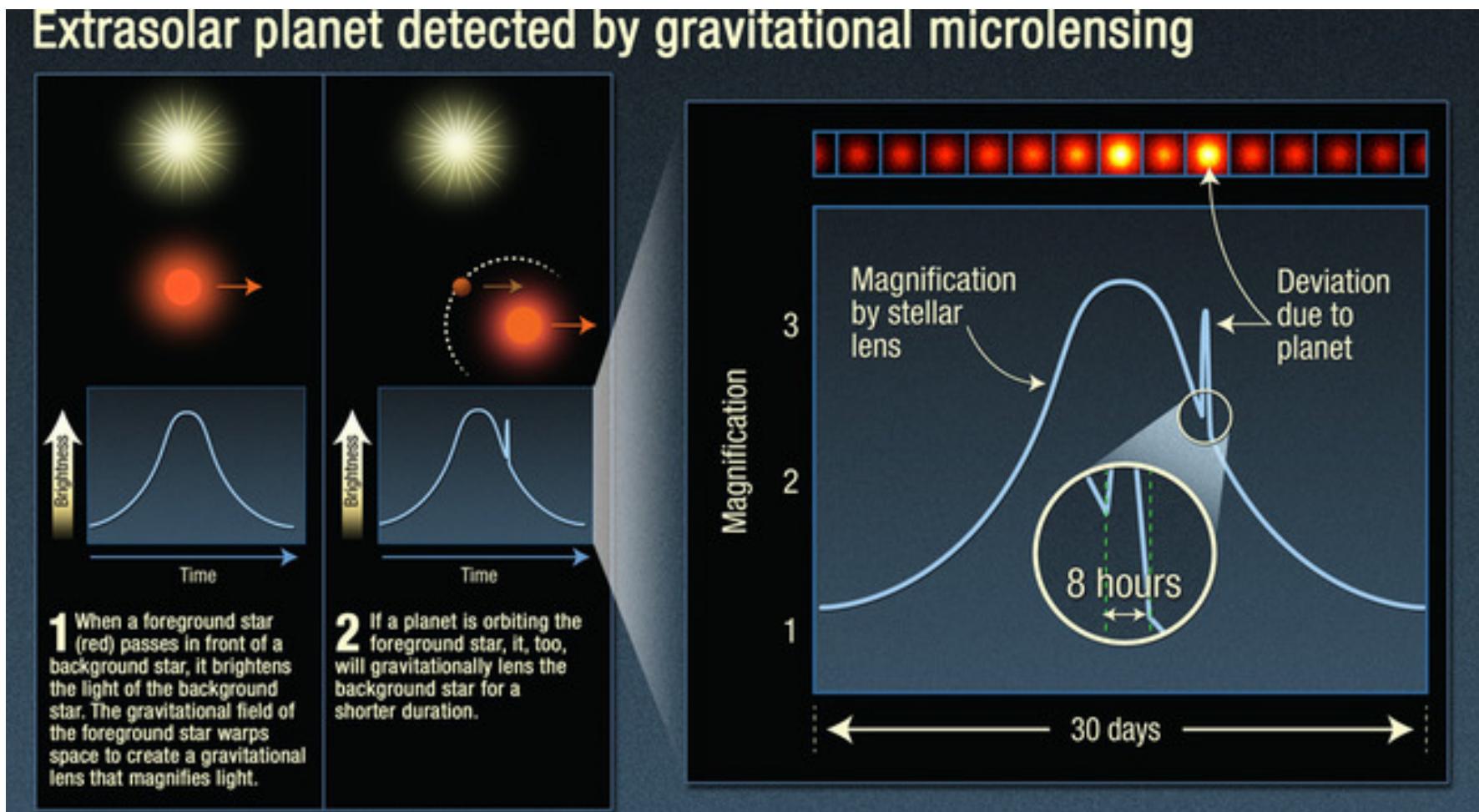
Lichtkurve für verschobenes Temperaturprofil



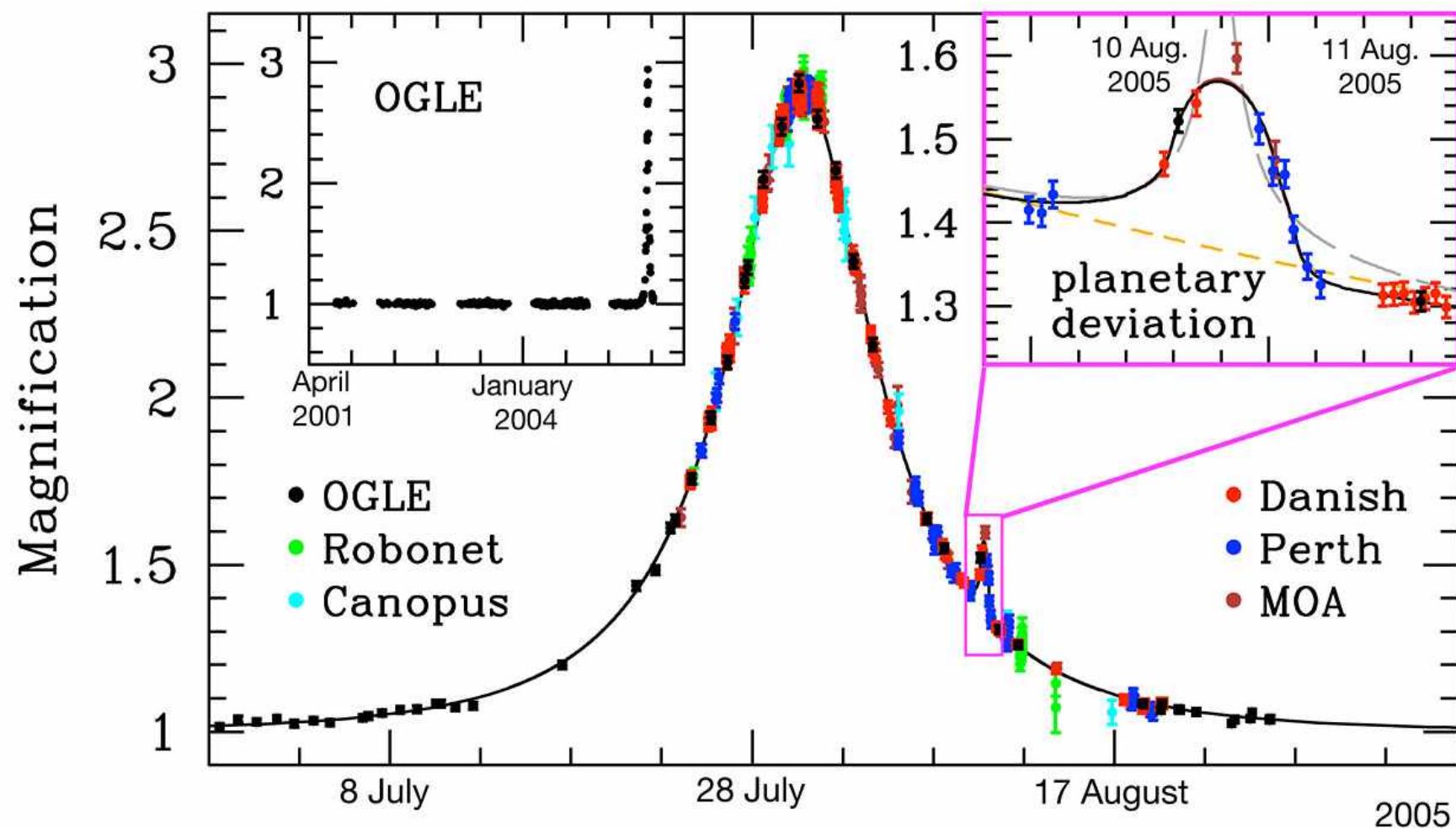
Exoplaneten Detektion: Microlensing



Exoplaneten Detektion: Microlensing



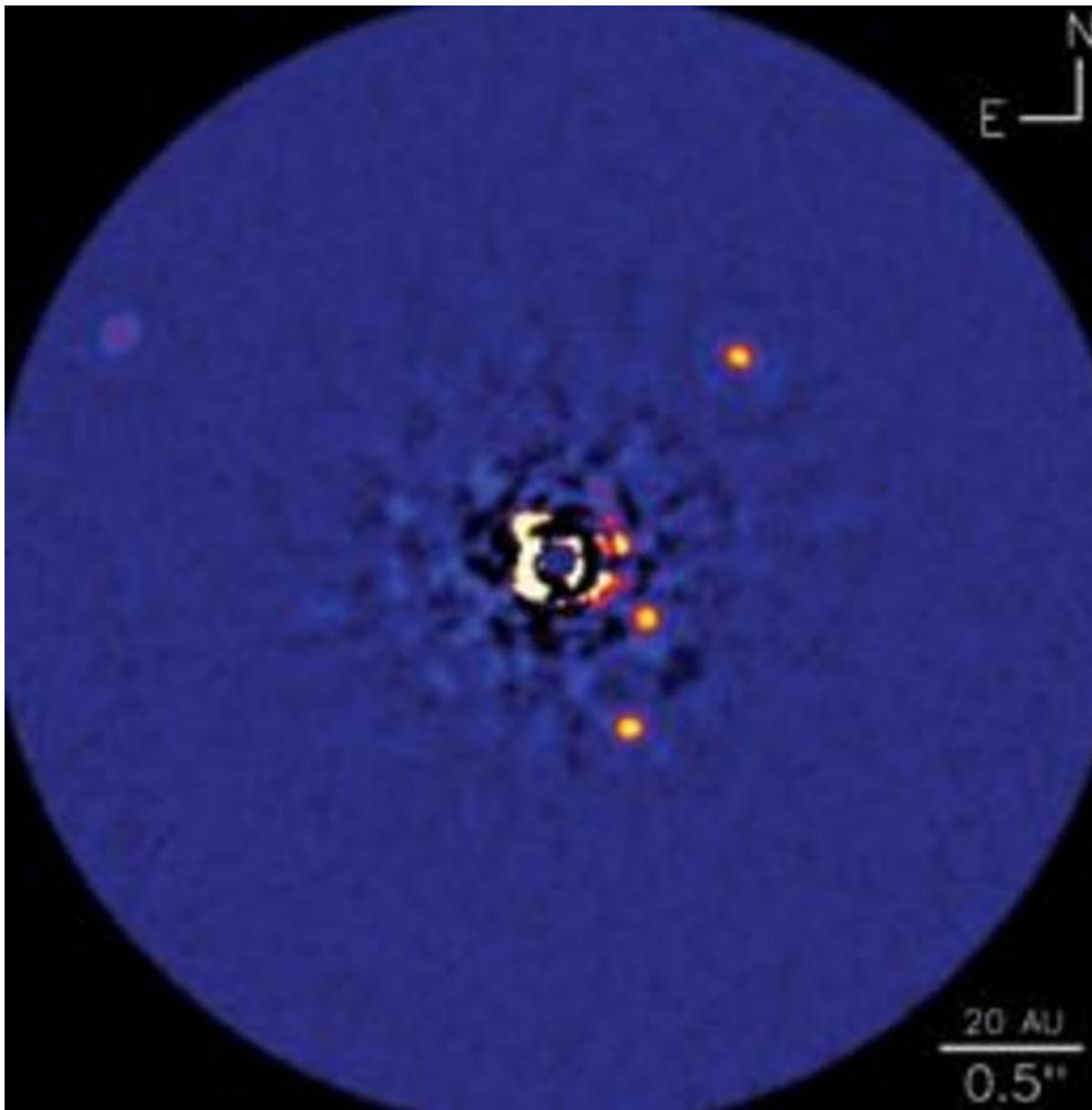
Exoplaneten Detektion: Microlensing



OGLE-2005-BLG-390

ESO press release

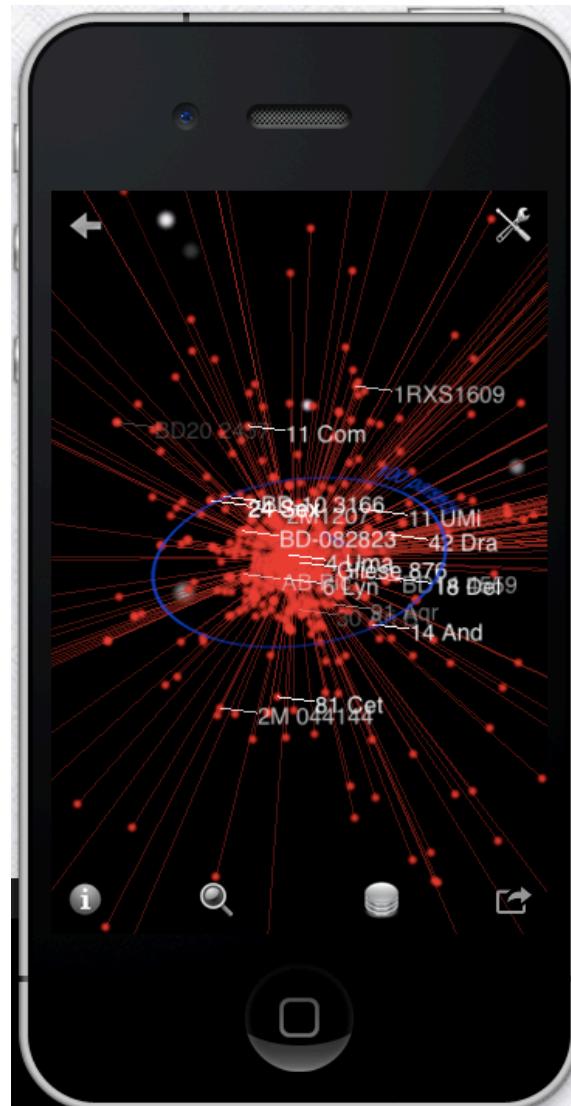
Direct detection



HR 8799

Nur sehr wenige
Beispiele.

Exoplanet iPhone App:



<http://exoplanet.hanno-rein.de>

Also, kann es Leben auf diesen
Exoplaneten geben?

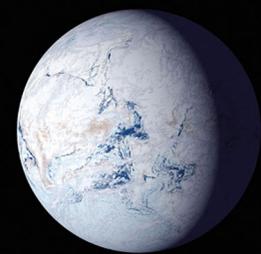
Antwort: Kommt auf die
Habitable Zone an...

Bewohnbare Zone



Wasser =
Dampf

Bewohnbare Zone



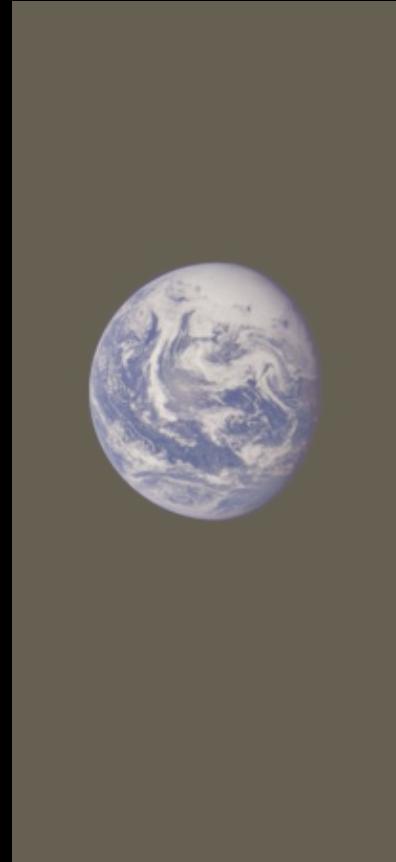
Wasser =
Eis

Bewohnbare Zone



Wasser =
Flüssig

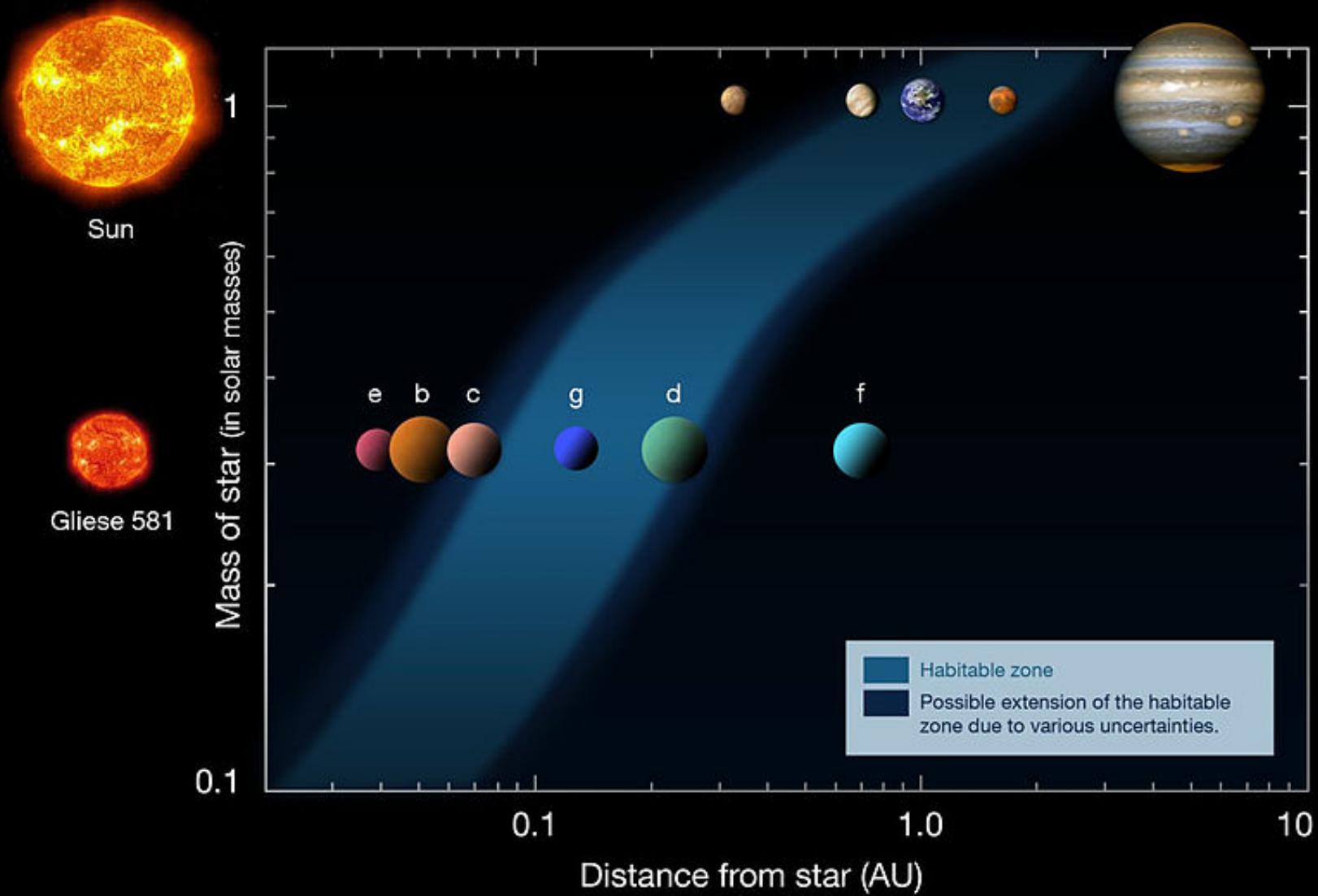
Bewohnbare Zone



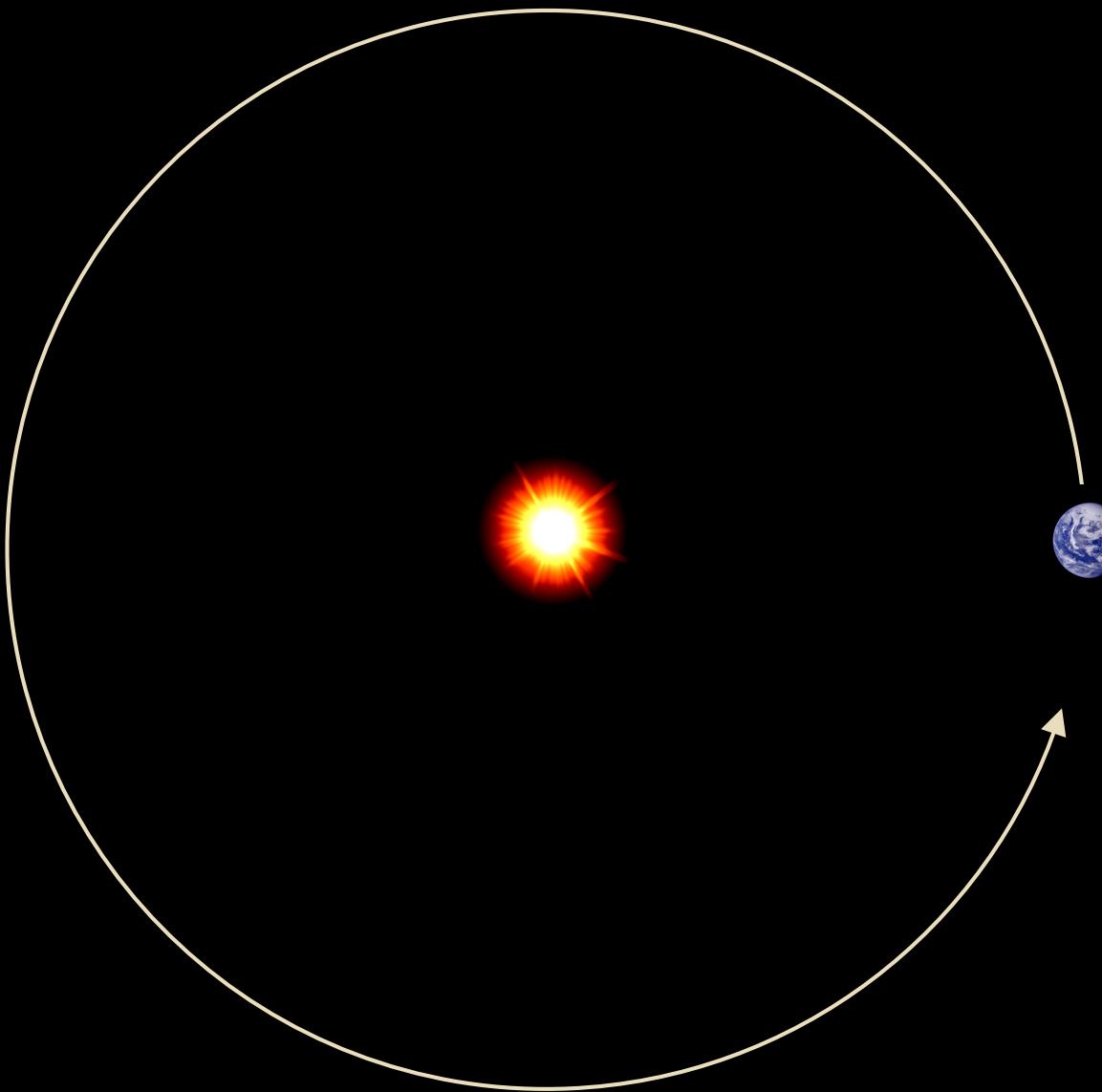
Habitable
Zone

Habitable zone: abhängig von Sterntyp

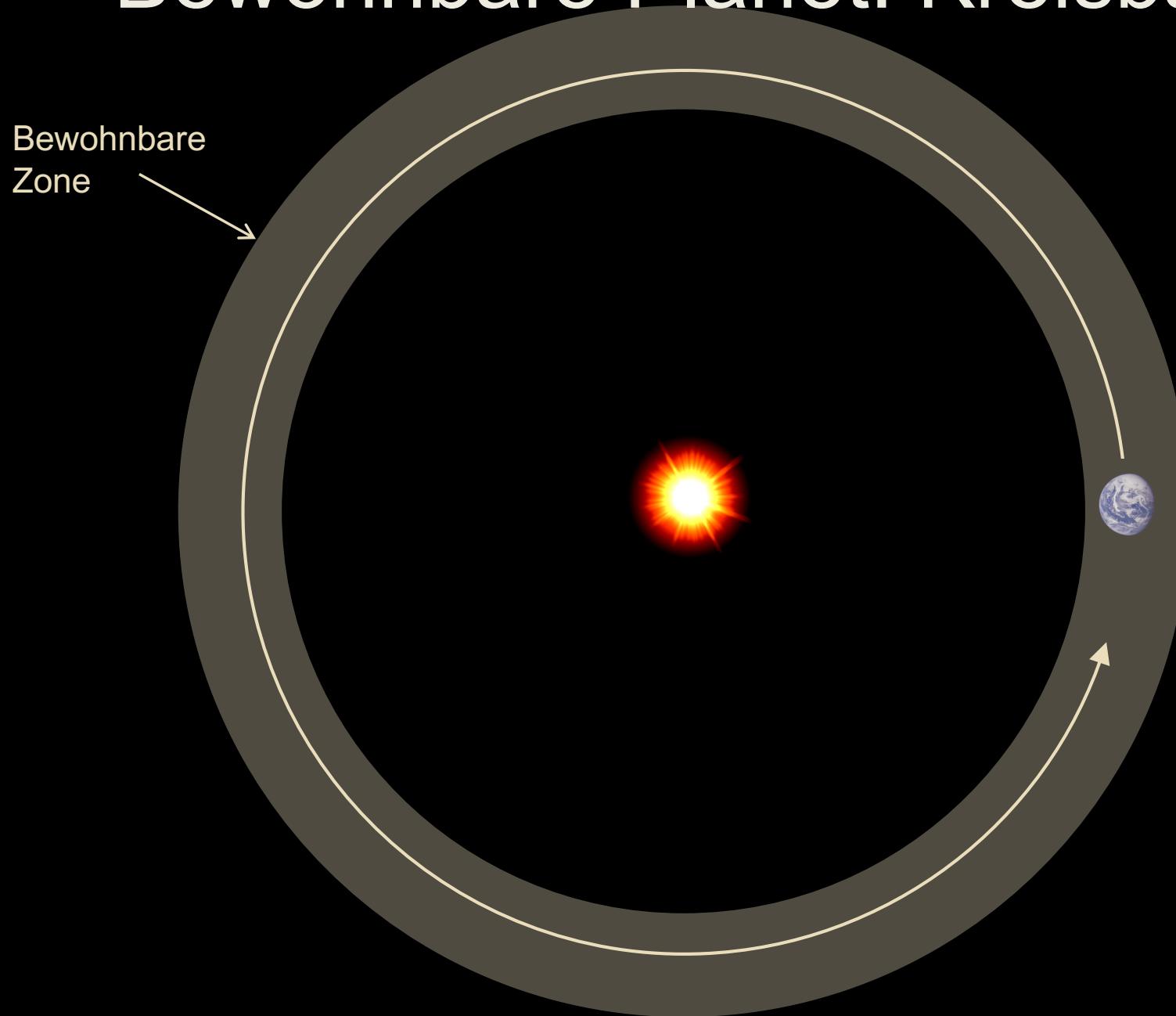
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gliese_581_-_2010.jpg



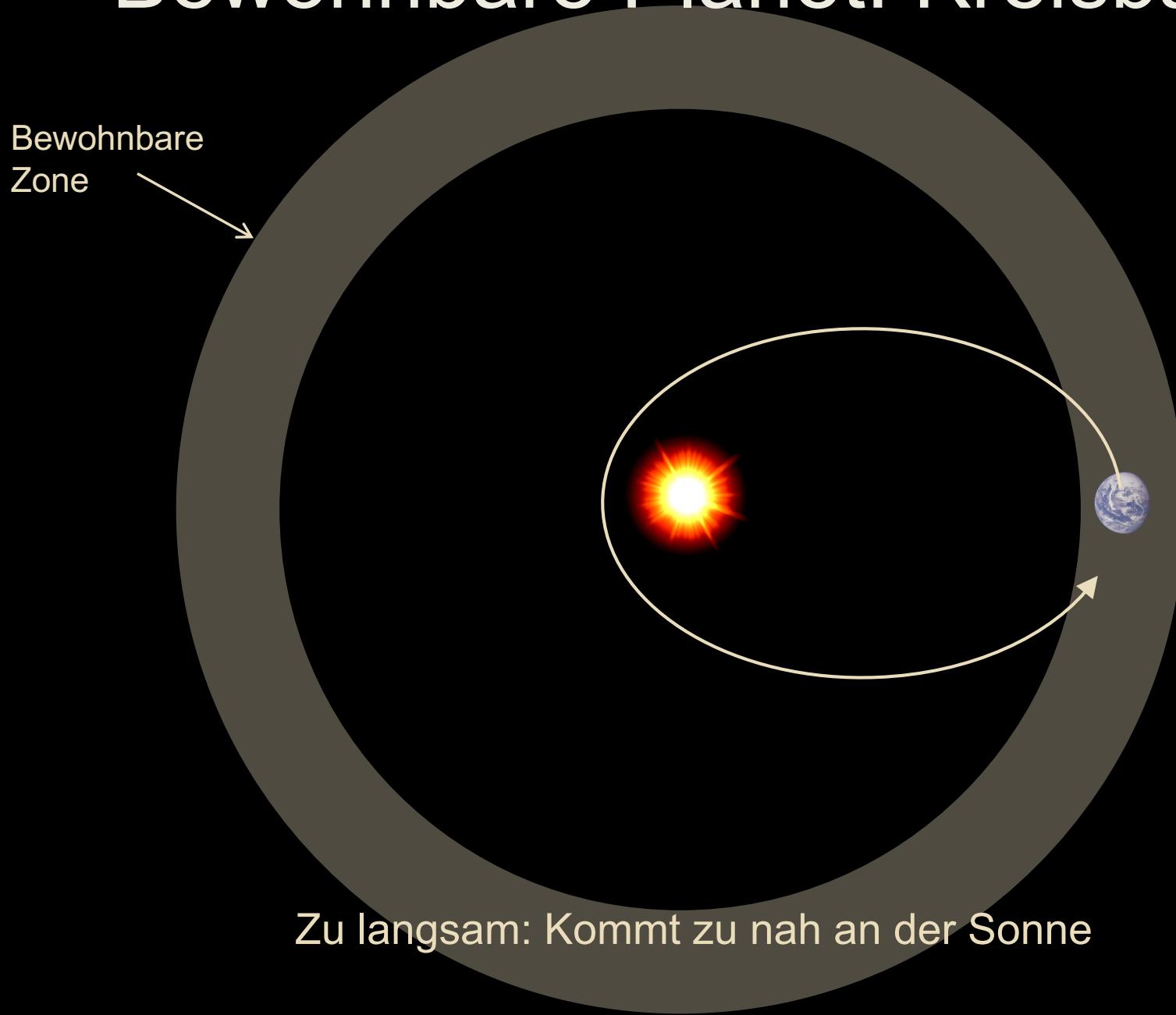
Bewohnbare Planet: Kreisbahn



Bewohnbare Planet: Kreisbahn



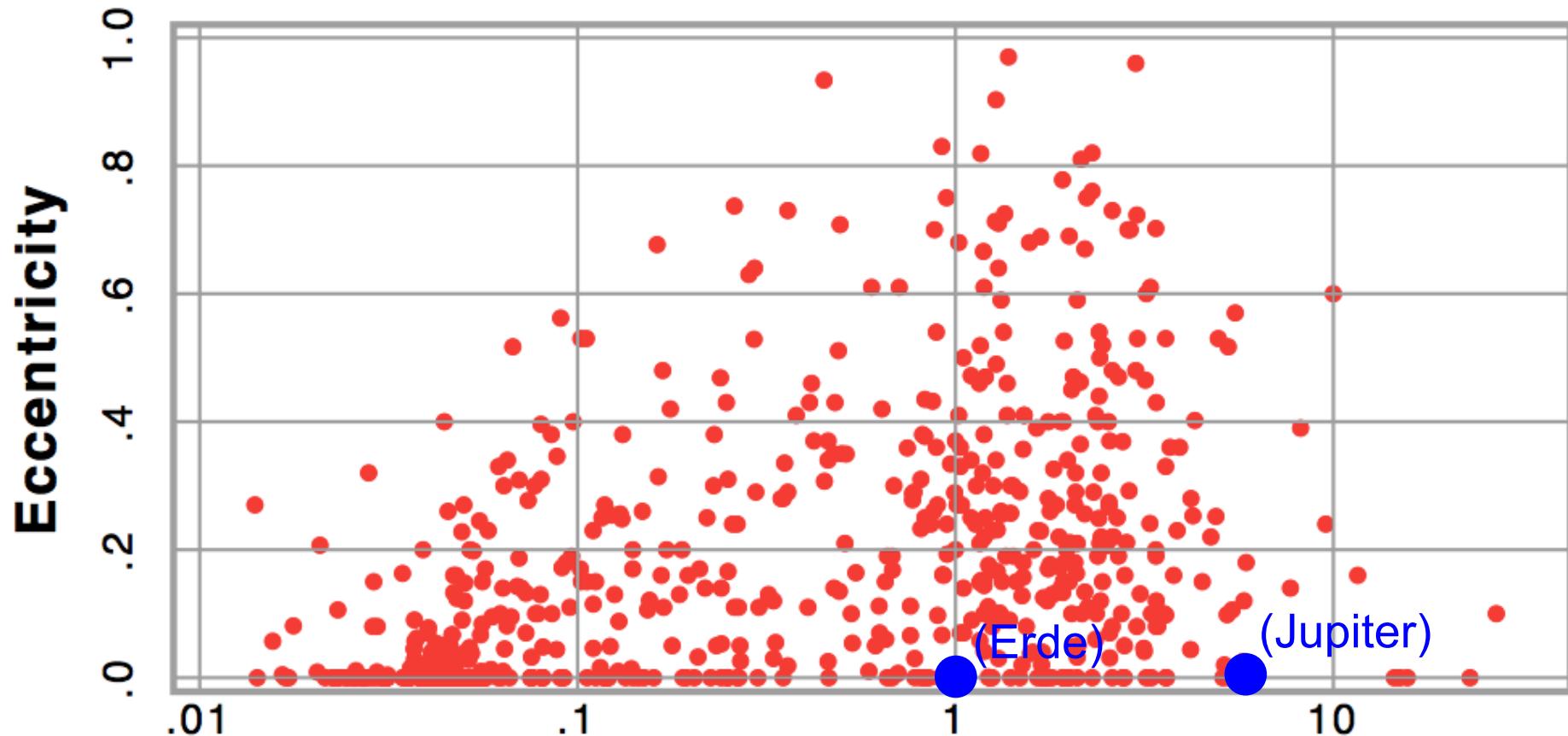
Bewohnbare Planet: Kreisbahn



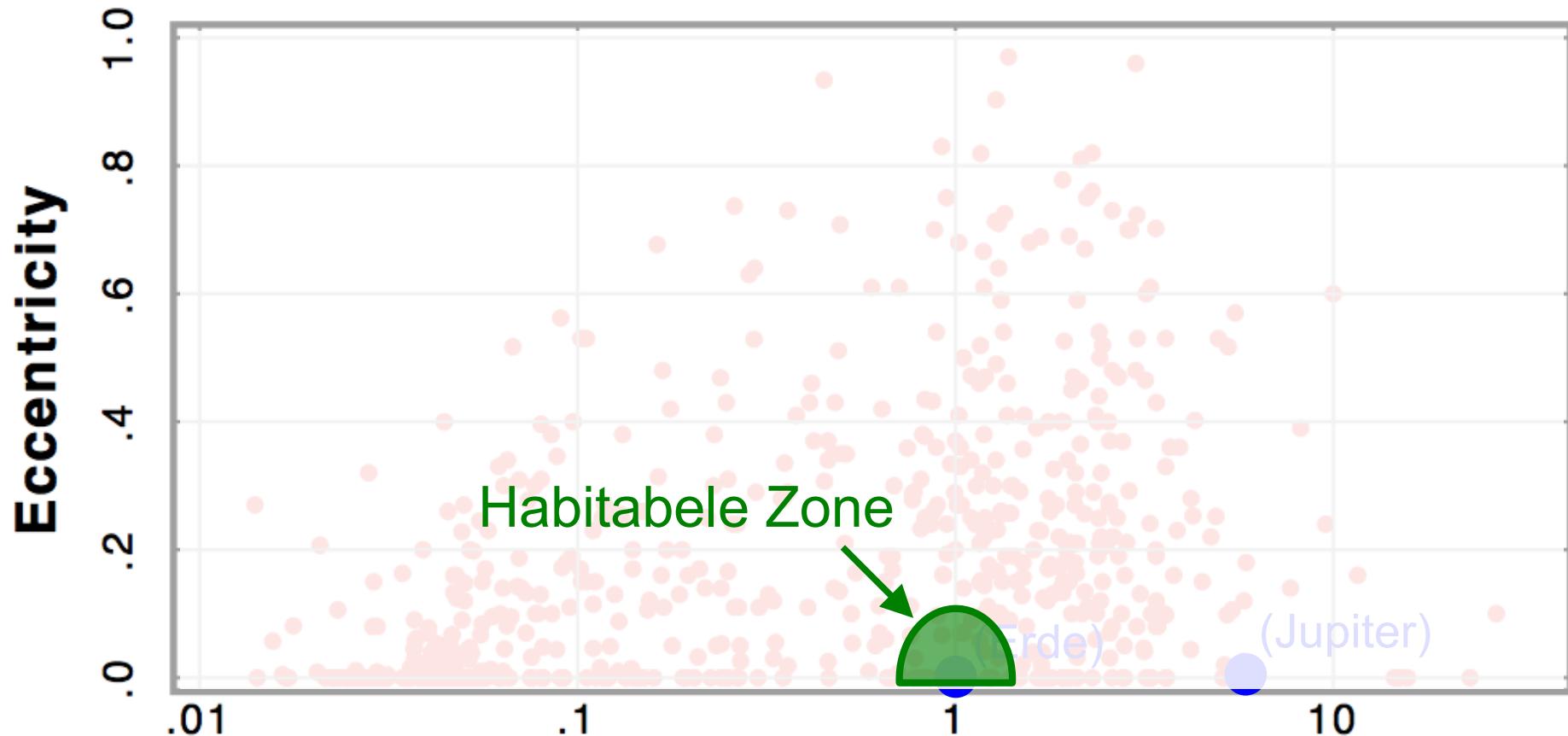
Bewohnbare Planet: Kreisbahn



Die bekannte Exoplaneten haben meist *nicht-kreisförmige* Umlaufbahnen



Die bekannte Exoplaneten haben meist *nicht-kreisförmige* Umlaufbahnen



Und wenn es ein Planet in der HZ gibt
muss es auch weitere Eigenschaften haben...



Auch der Mond ist wichtig...

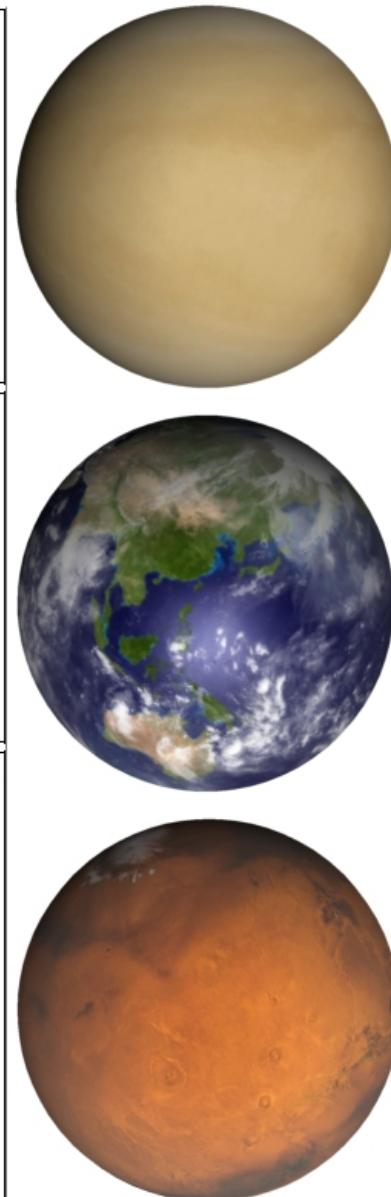
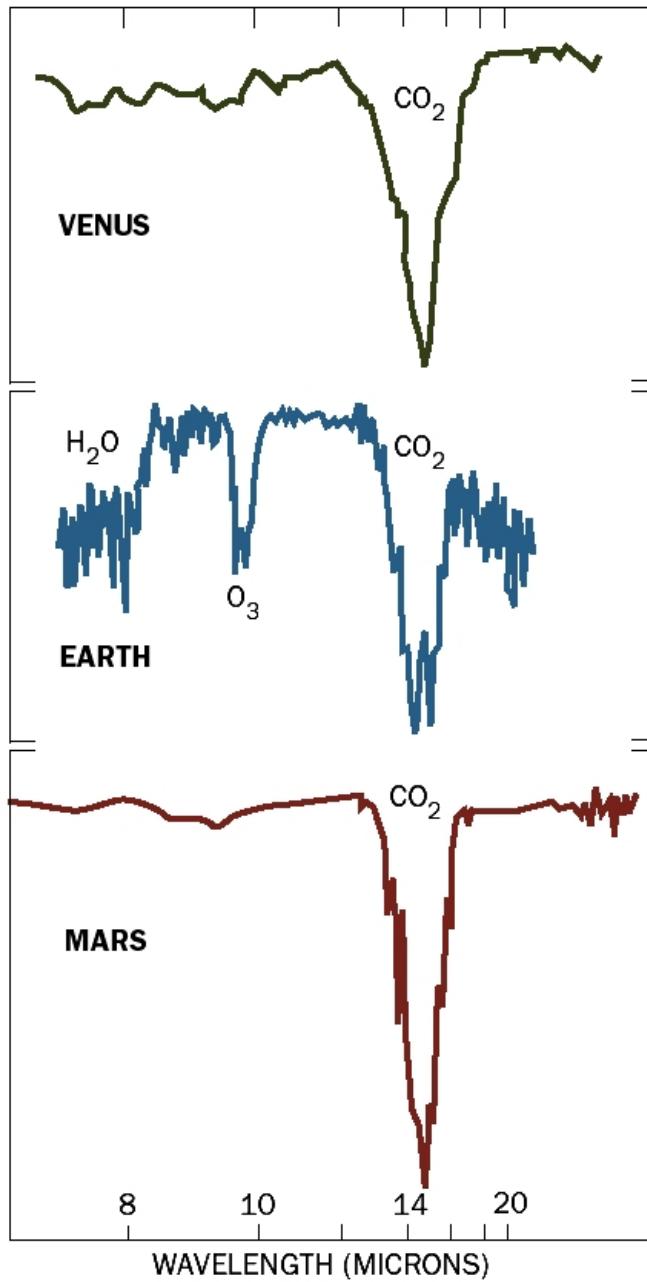
Er hält die Erd-Rotations-achse stabil.

Wichtig: damit es Tag & Nacht gibt...

...damit die Wärme der Sonne gleichmäßig über die Erd-Oberfläche verteilt wird.



Biosignatures



Die Gefahren die das Leben
ausgesetzt ist

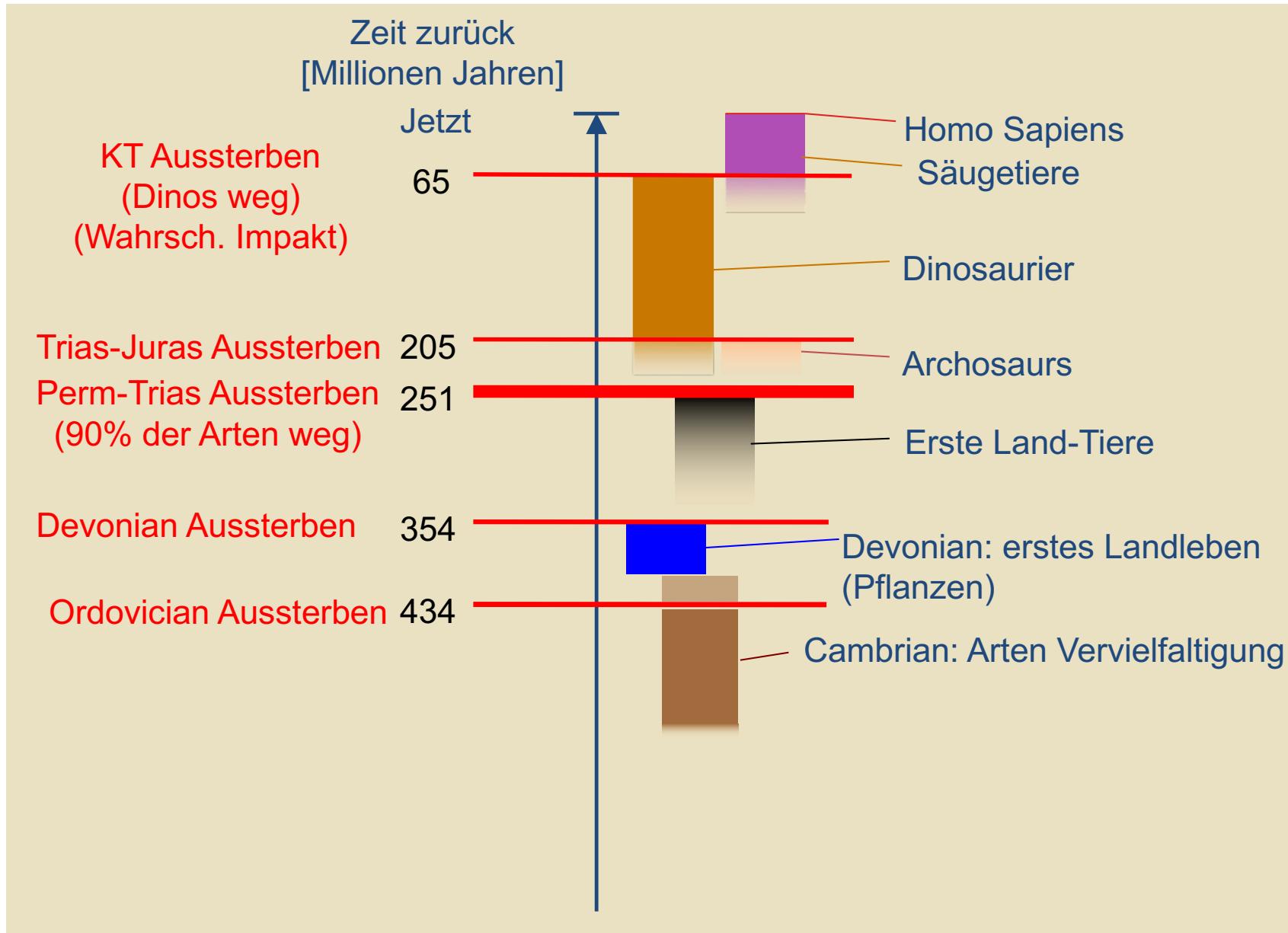
und

Massenaussterben-Ereignisse

Gefahren für Leben...

- Grosser Asteroiden-Einschlag
- Unkontrolliertes einfrieren (Mega-Eiszeit)
- Unkontrolliertes Treibhauseffekt und Aufwärmung
- Extreme Sonnenwinde und/oder kein Magnetfeld
- ...und mehr

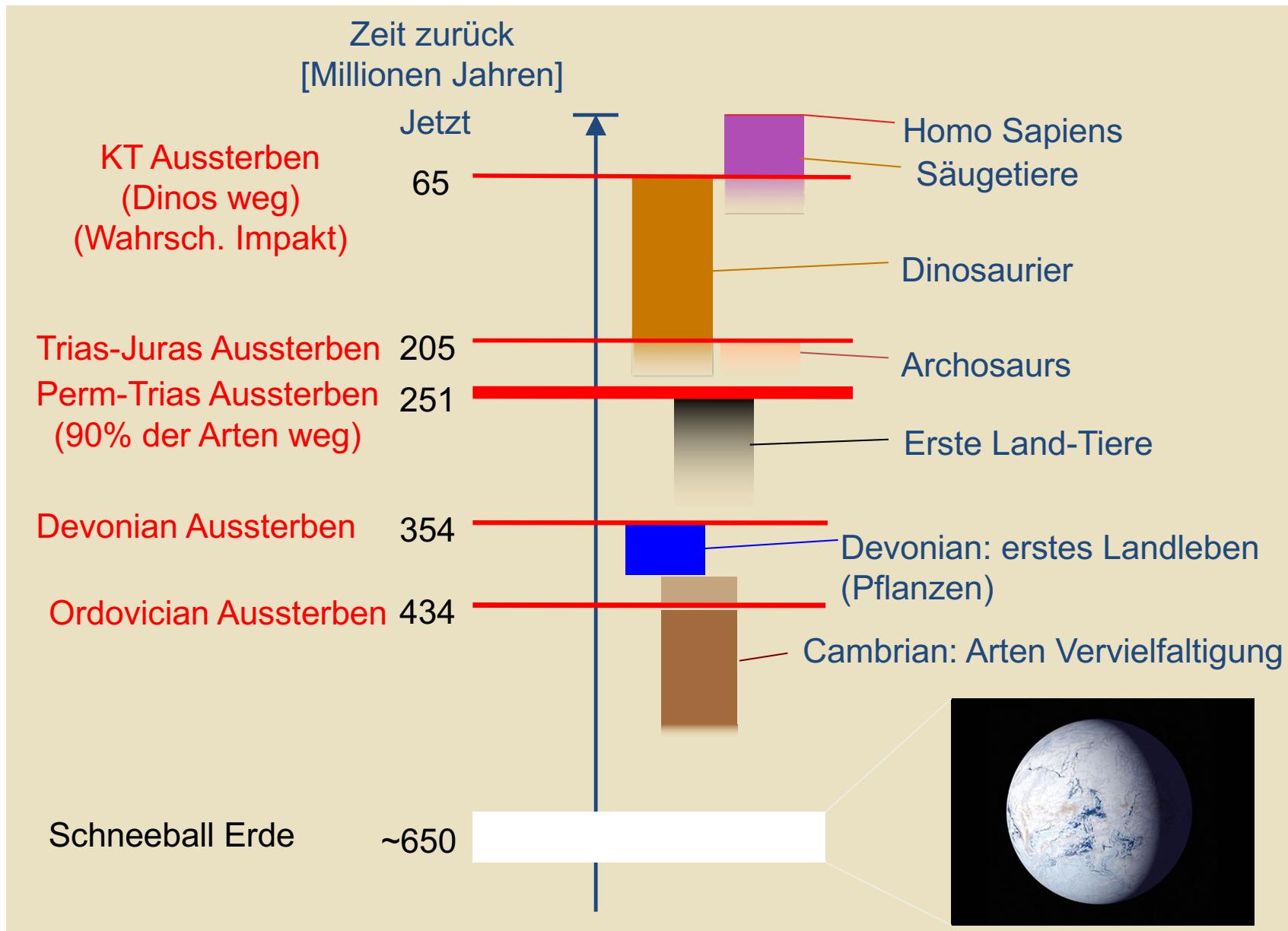
Massenaussterben-Ereignisse auf Erde



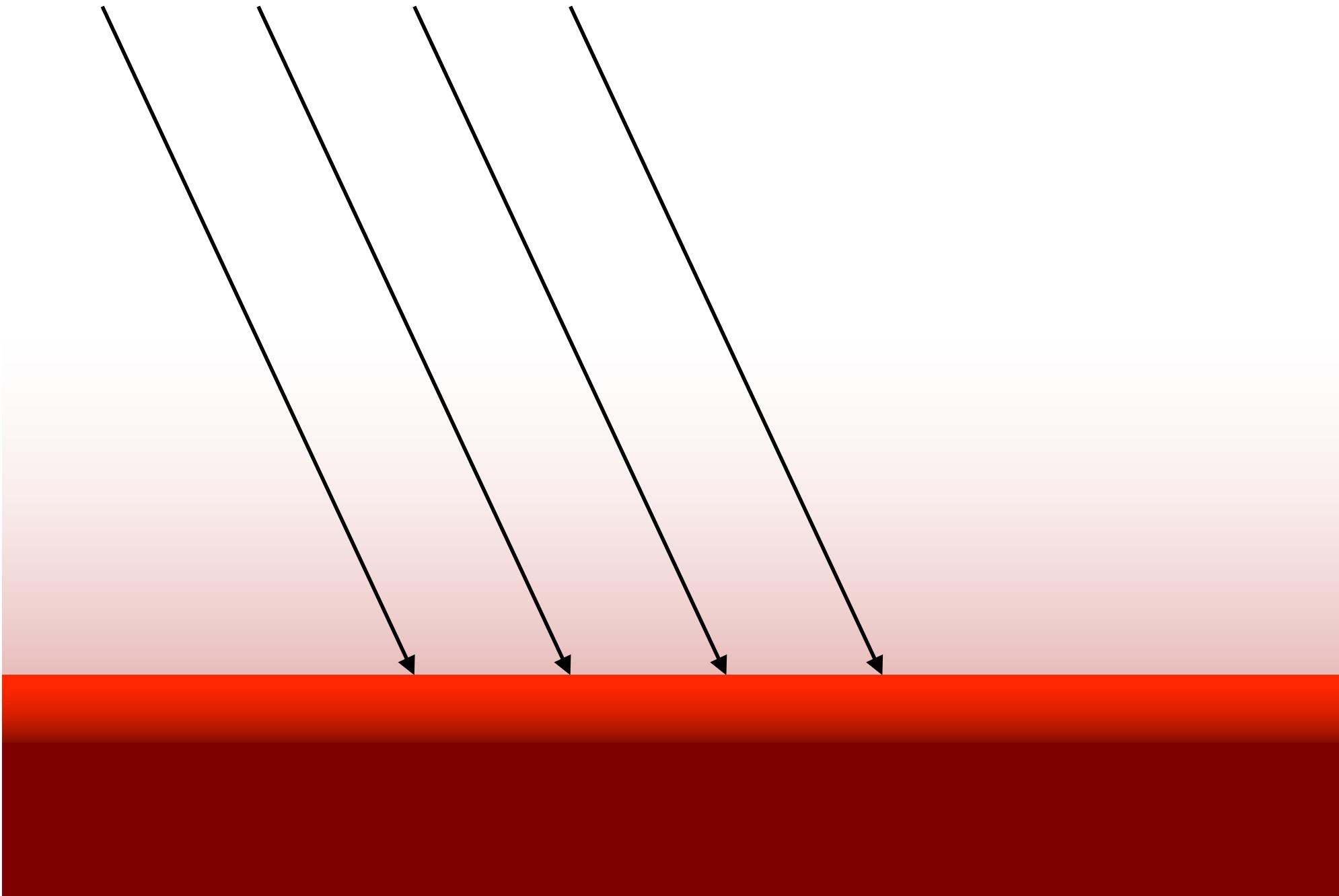
Dinosaurier-Killer Impact



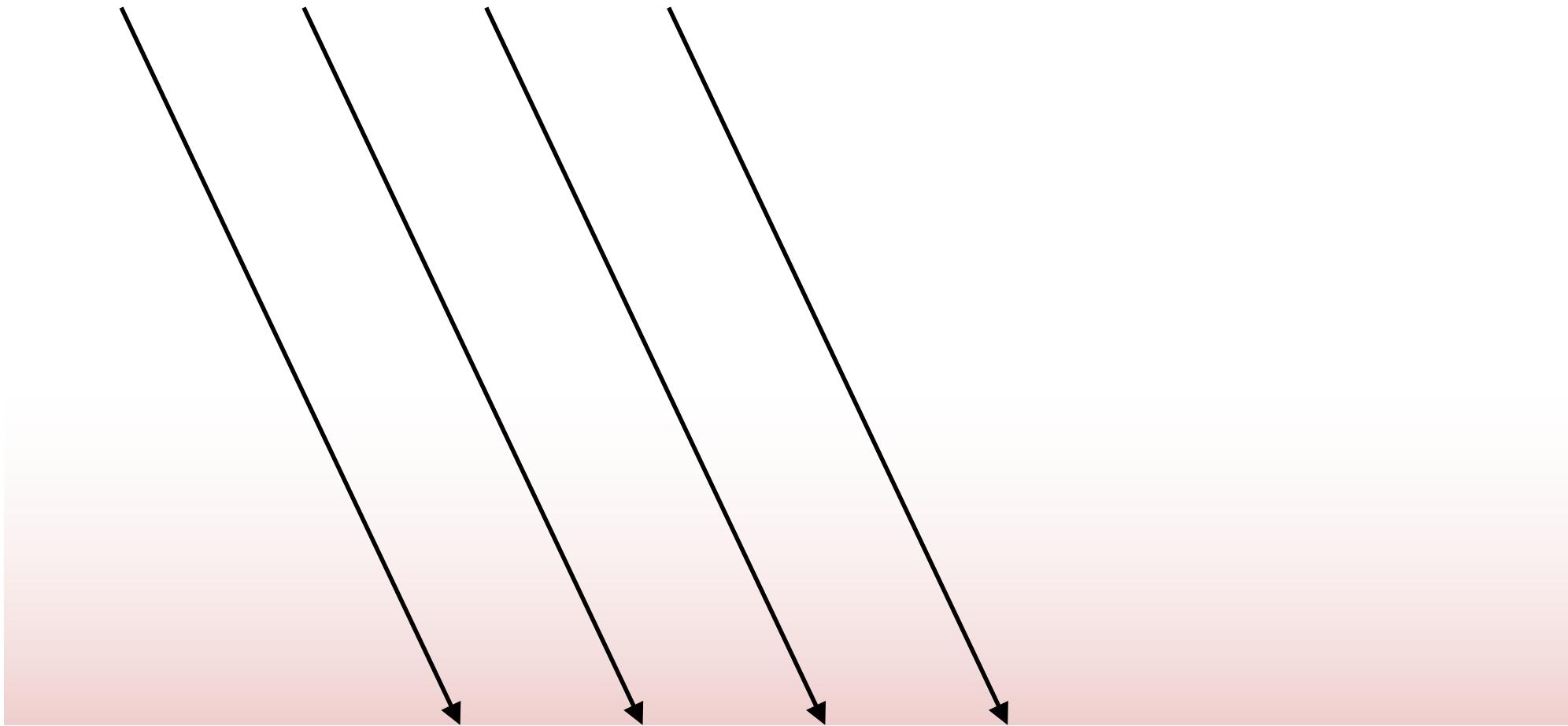
“Snowball Earth”



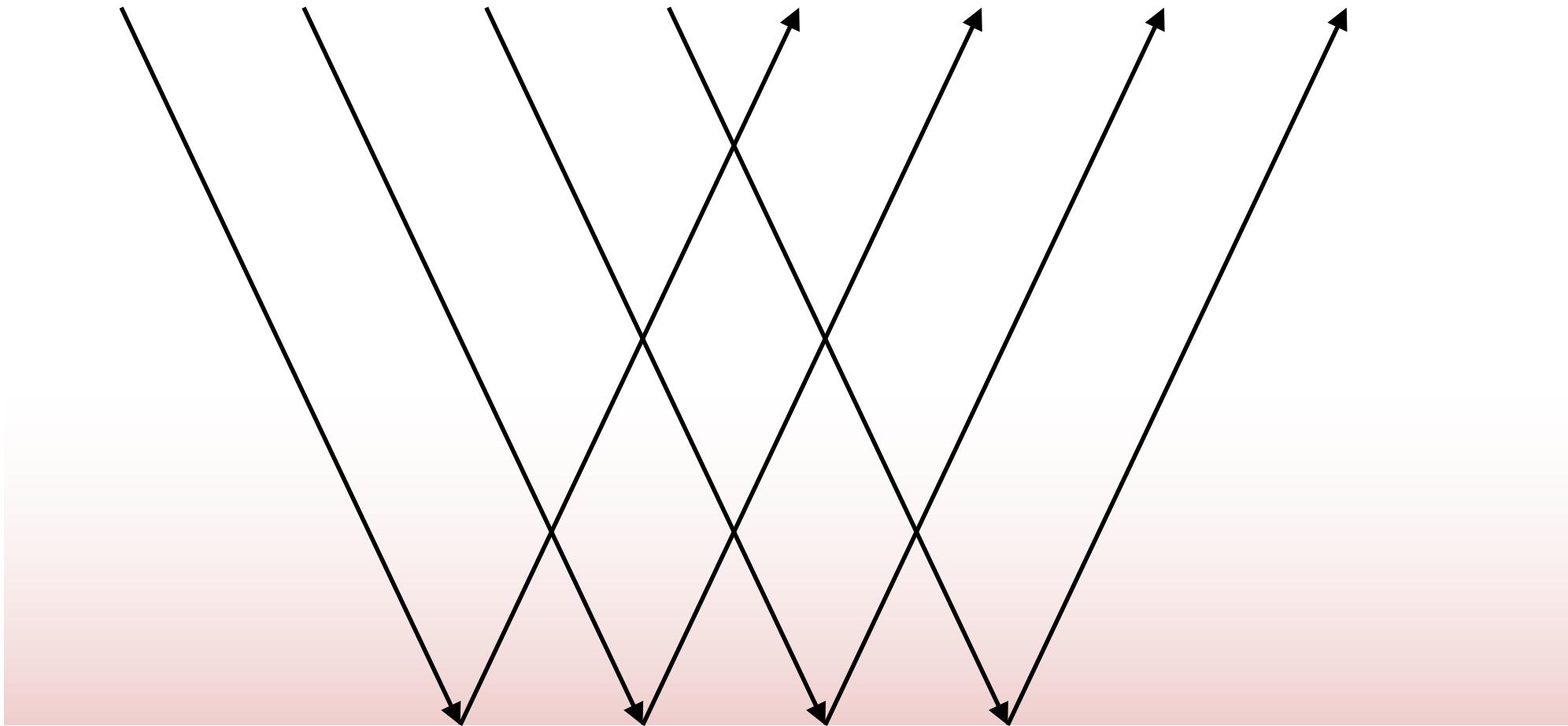
“Snowball Earth”



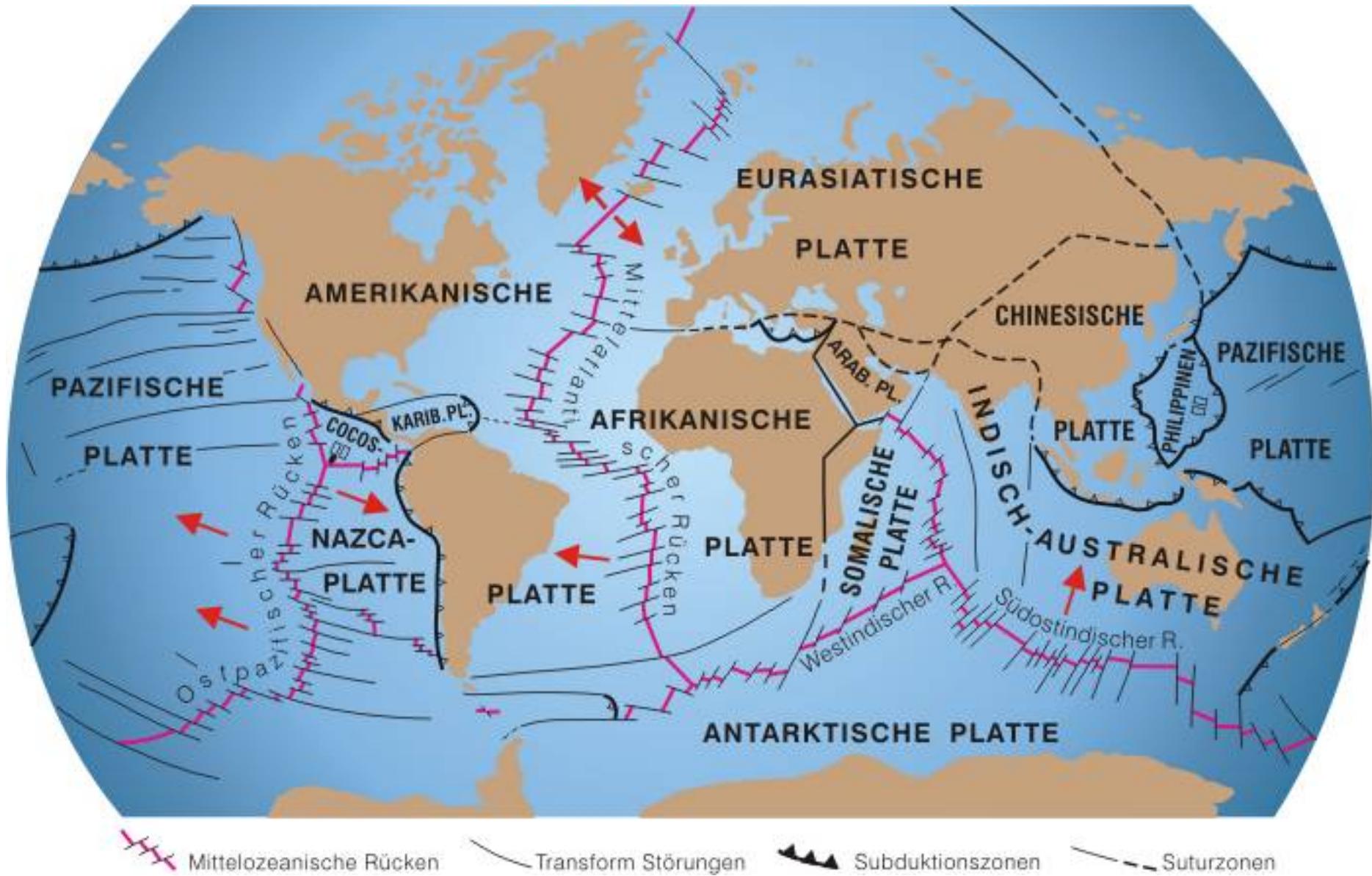
“Snowball Earth”



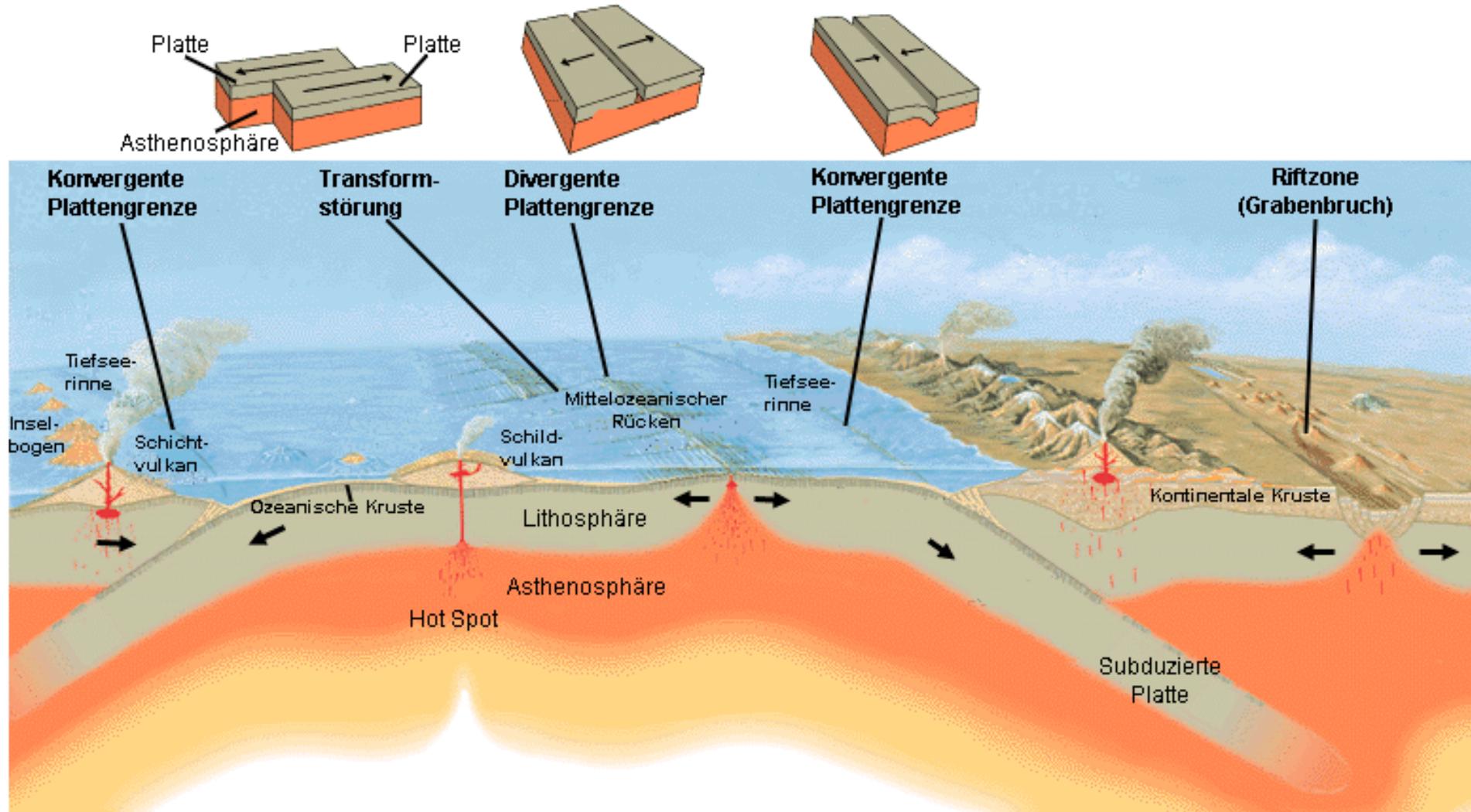
“Snowball Earth”



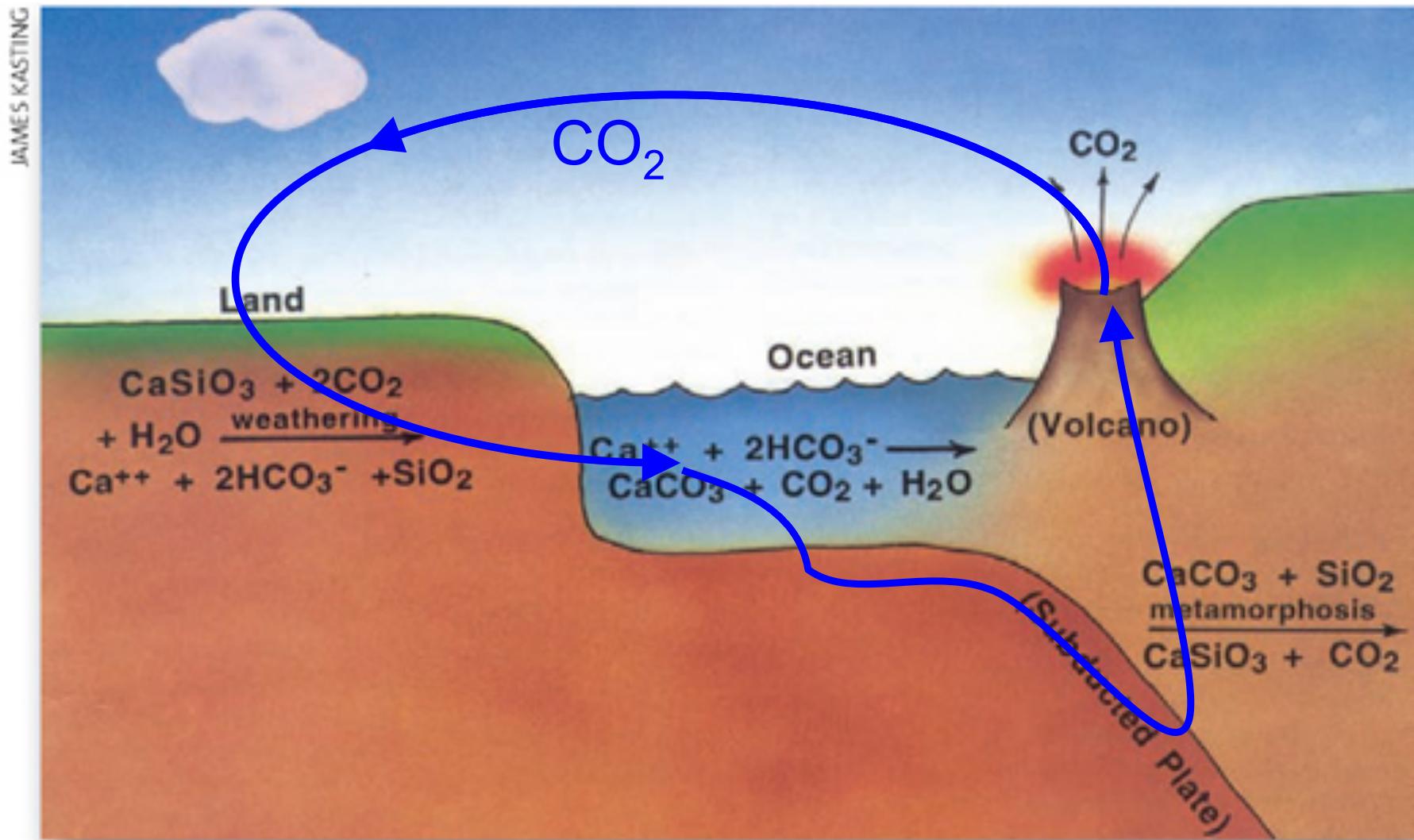
Wie Plattentektonik und der CO₂-Zyklus diesen Teufelskreis durchbrechen



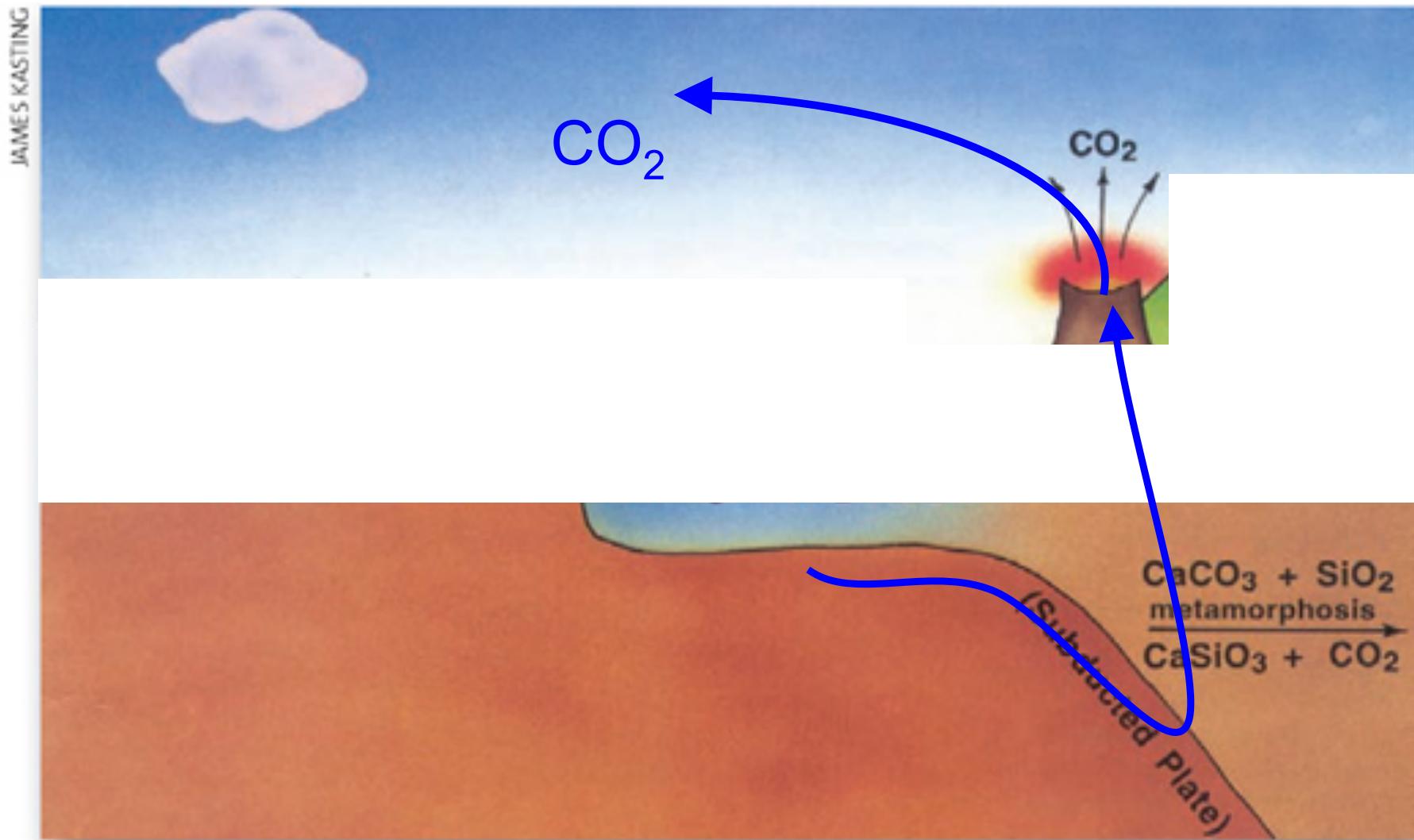
Wie Plattentektonik und der CO₂-Zyklus diesen Teufelskreis durchbrechen



Wie Plattentektonik und der CO₂-Zyklus diesen Teufelskreis durchbrechen



Wie Plattentektonik und der CO₂-Zyklus diesen Teufelskreis durchbrechen



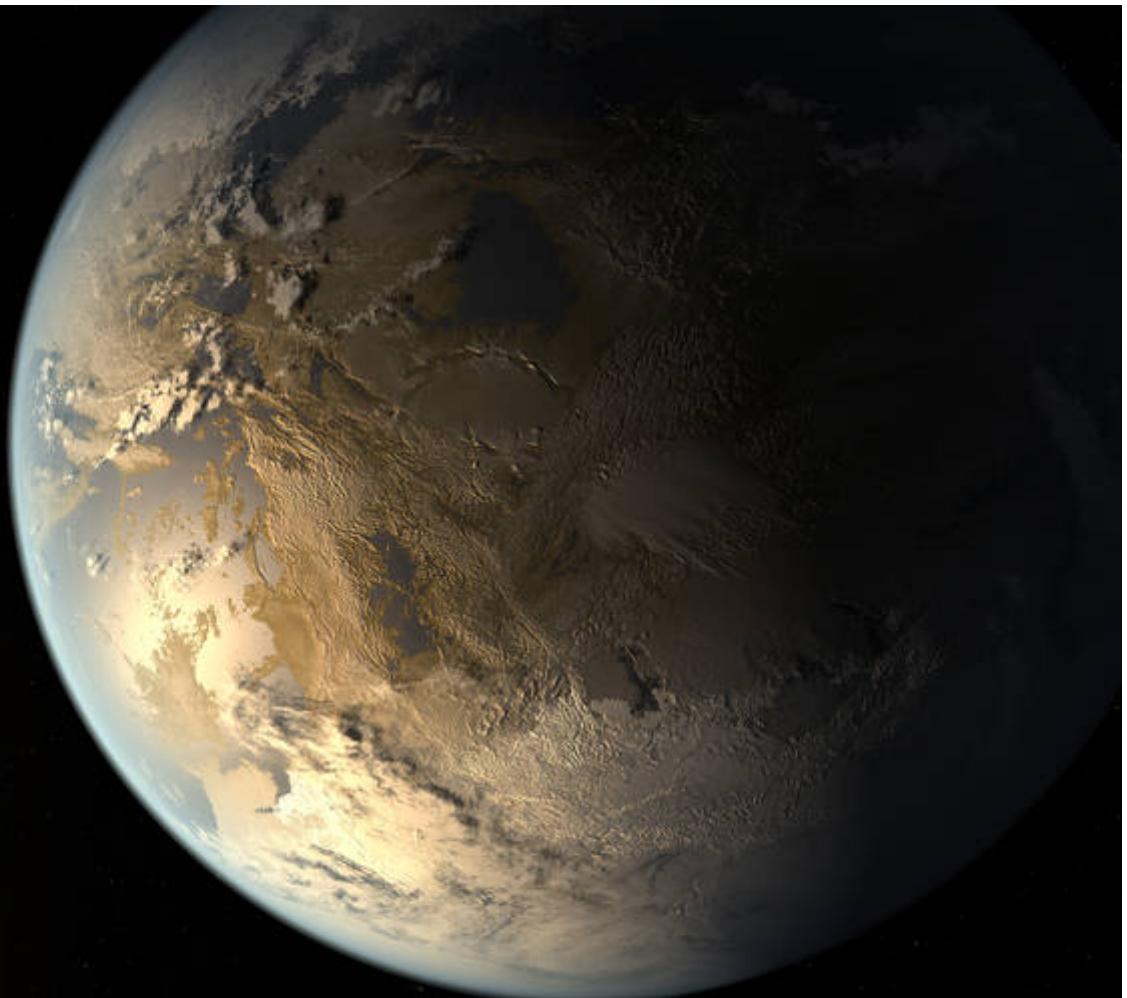
Die Suche nach der zweiten Erde

Zweite Erde schon gefunden?

Kepler 186-f

Entdeckung: April 2014

Bestätigung: July 2015

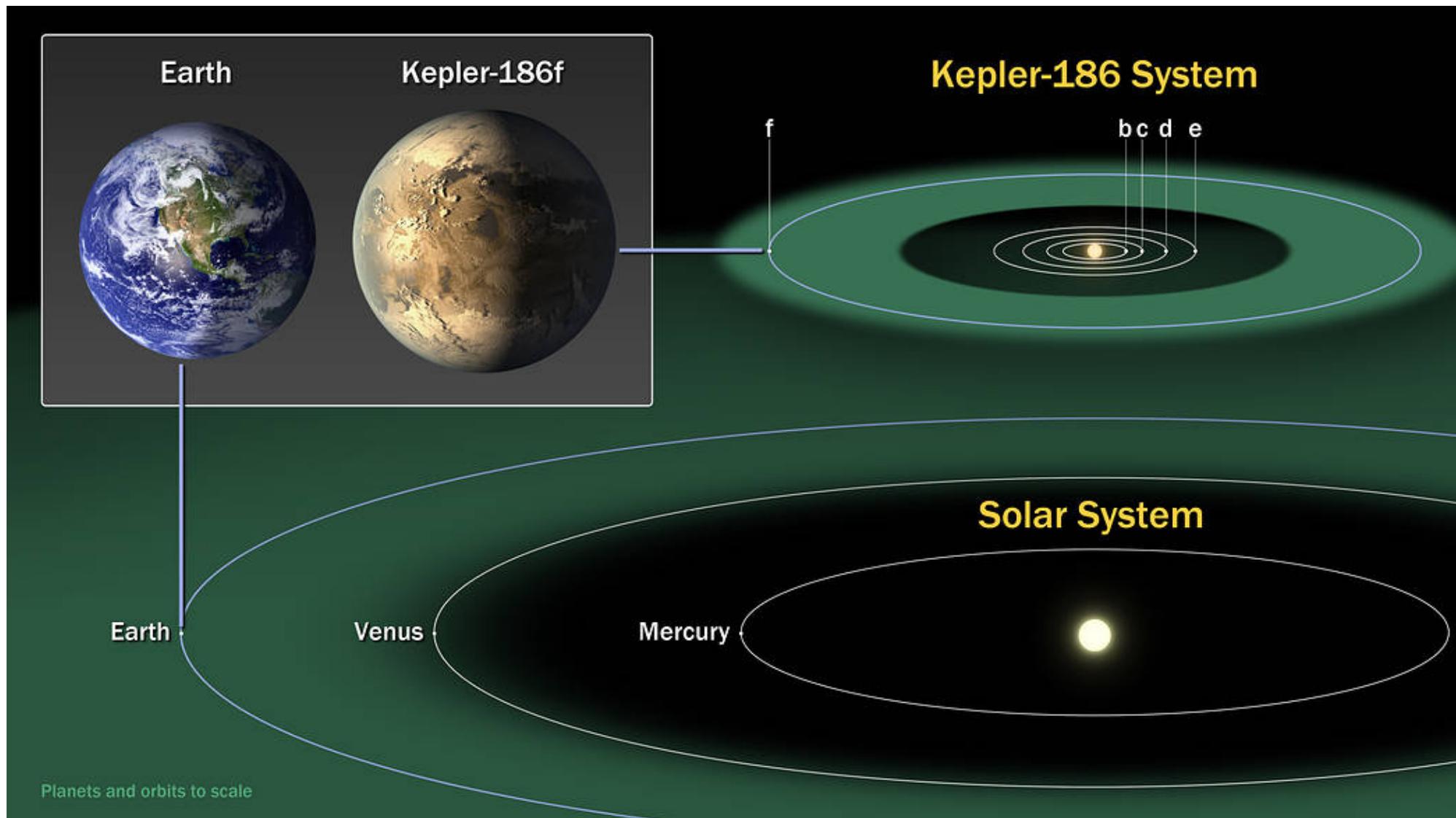


Achtung: das Bild ist eine
künstlerische Darstellung

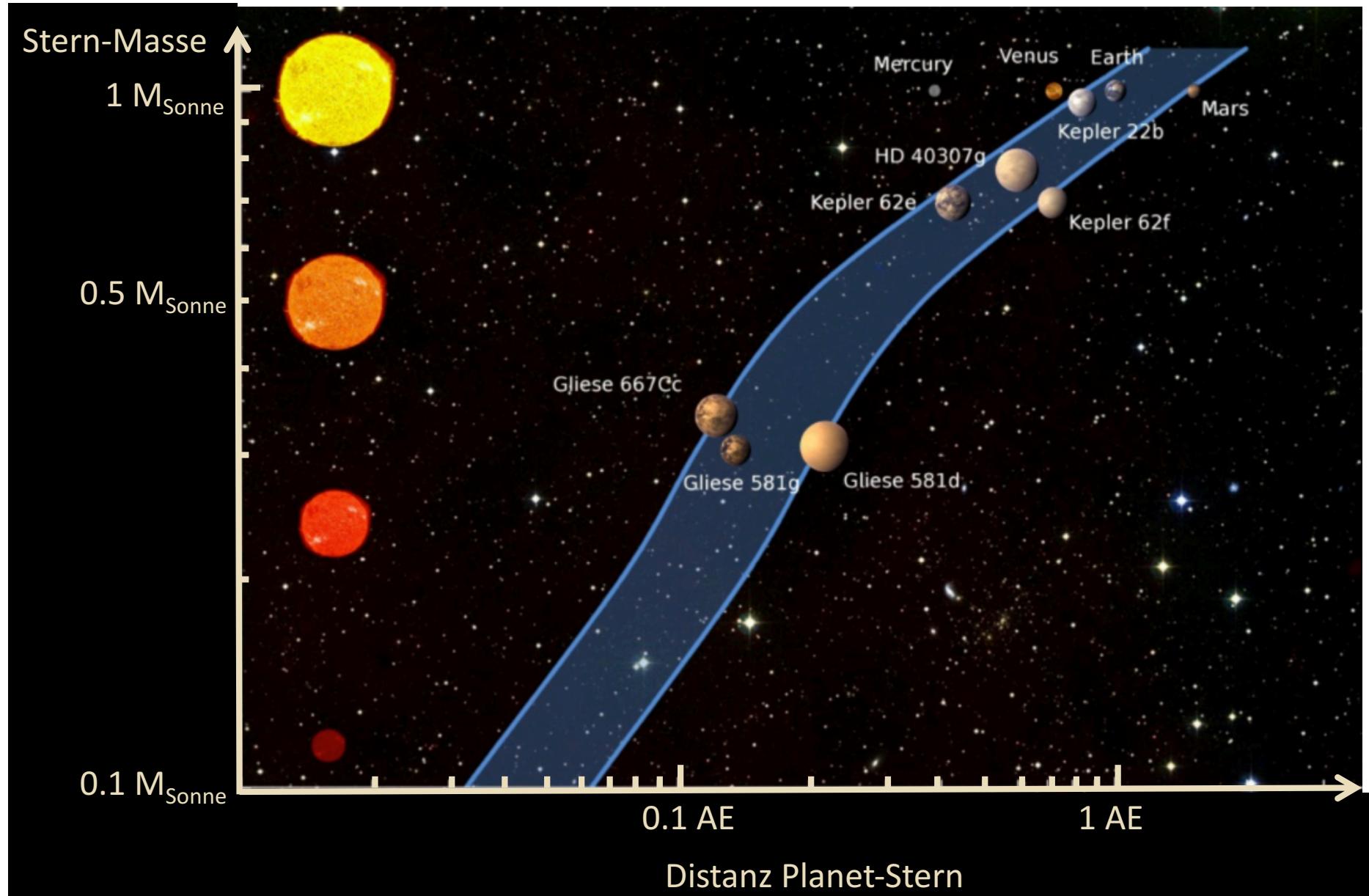
Zweite Erde schon gefunden?

Noch nicht ganz: der Stern ist ein M-Zwergstern.

Und wir wissen noch ganz wenig über Kepler-186f...



Habitable Zone für kleine Sterne

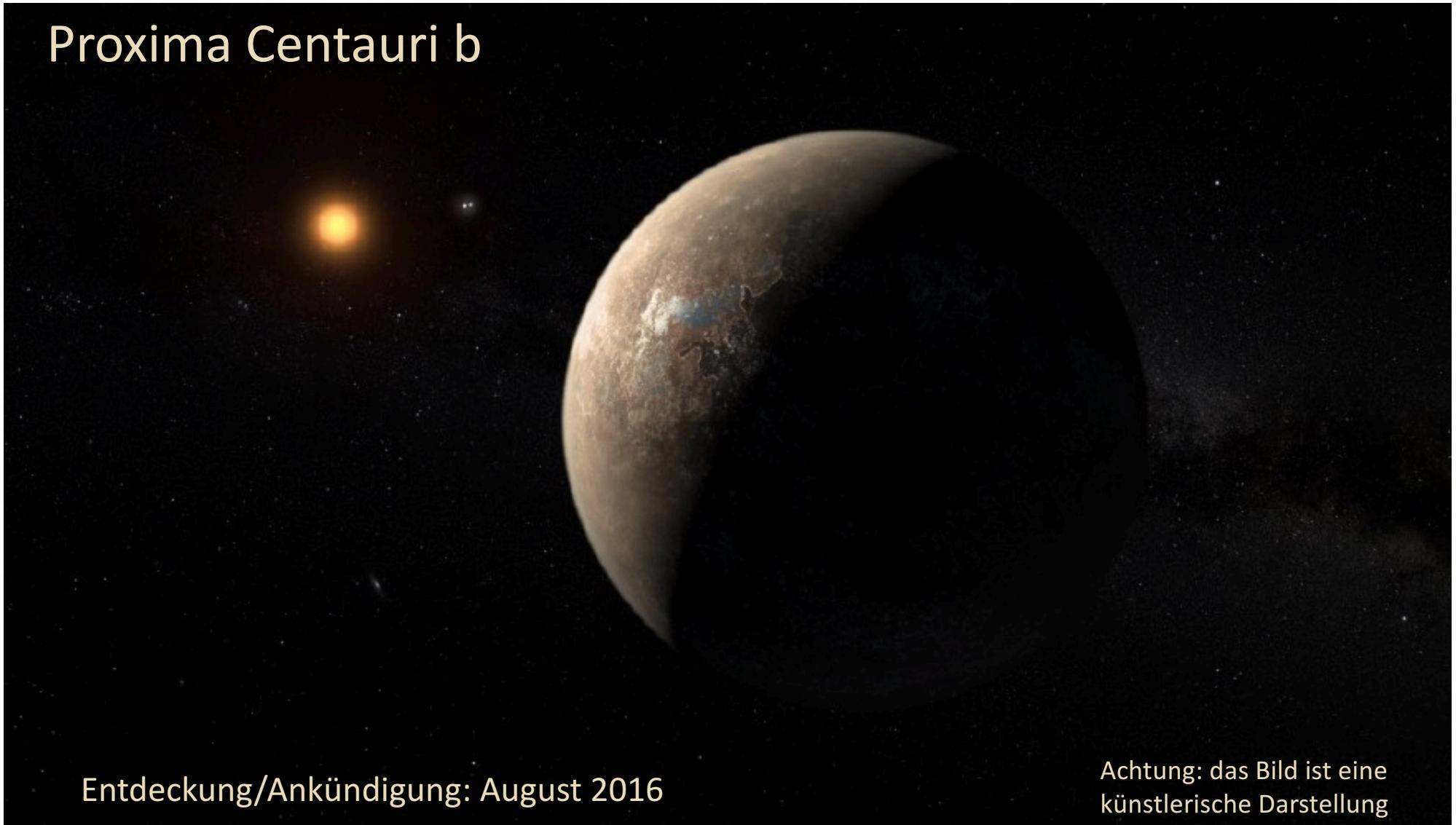


Adapted from: Kasting et al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2014, 111, 12641–12646.

Image credit: Chester Harman. Planets: PHL at UPR Arecibo, NASA/JPL/Arizona

Und was ist mit diesem?

Proxima Centauri b

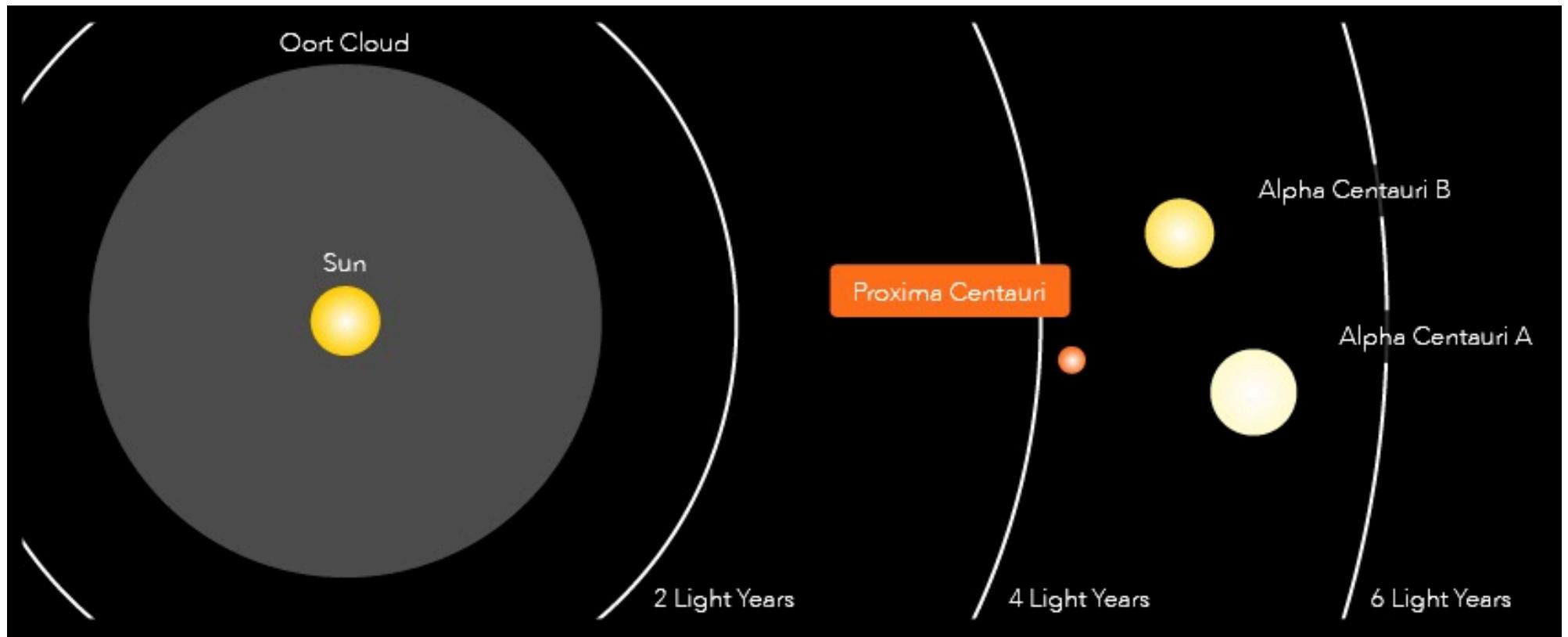


Entdeckung/Ankündigung: August 2016

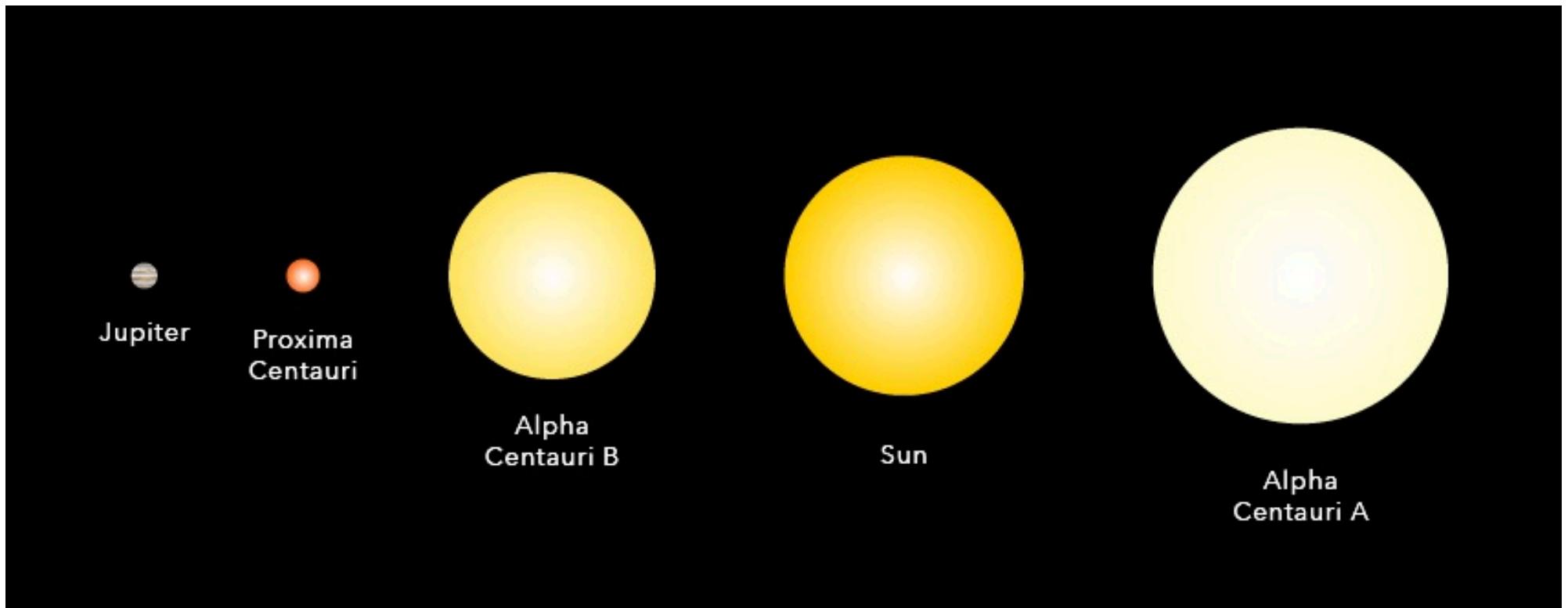
Achtung: das Bild ist eine
künstlerische Darstellung

Und was ist mit diesem?

Proxima Centauri ist der allernächste Stern: nur 4.2 Lichtjahre von uns entfernt!



Auch hier: Planet um M-Zwergstern



Überlegung...

- Es gibt viele Bedingungen für bewohnbare Planeten, aber:
 - Ein groß Teil der Sterne hat Planeten, viele auch mehr als nur einen.
 - Es gibt 400 Milliard Sterne in der Milchstrasse.

Die Suche nach Extraterrestrische Intelligenz (SETI)



Arecibo Teleskop in Puerto Rico



Allen Telescope Array

Film “Contact” (1997)



Basiert auf dem Buch von
Carl Sagan, dem berühmten
Astrophysiker

Warum haben wir noch nichts “gehört”?

- Selbst die nächste Sterne sind sehr weit weg.
- Vielleicht sind sie absichtlich radio-still (selfschutz gegen uns)?
- Zeitskalen Problem:
 - Unsere eigene moderne Zivilisation (mit fähigkeit zum Radiosignalen-Senden und Empfangen) besteht nur ca. 100 Jahre.
 - Die Erde ist 4.5 Milliard Jahre alt.
 - Das heisst: Zivilisation gab es nur 1/45.000.000 der Zeit...
 - Bei einem Planet um z.B. α-Centauri wäre das ähnlich.
 - Wäre Zufall, wenn das bei α-Centauri auch genau jetzt stattfindet.

Drake Formel

$$N_{\text{ziv}} = N_{\text{sterne}} * f_{\text{planet}} * f_{\text{hab}} * f_{\text{leben}} * f_{\text{intell}} * t_{\text{intell}} / t_{\text{stern}}$$

$$N_{\text{sterne}} \approx 10^{12}$$

$$f_{\text{planet}} \approx 0.25$$

$$f_{\text{hab}} \approx 0.1$$

$$f_{\text{leben}} \approx 0.01 ??? \text{ (unbekannt)}$$

$$f_{\text{intell}} \approx 0.01 ??? \text{ (unbekannt)}$$

$$t_{\text{intell}} \approx 10.000 \text{ Jahre (abschätzung)}$$

$$t_{\text{stern}} \approx 10^{10} \text{ Jahre}$$

$$\rightarrow N_{\text{ziv}} \approx 3$$